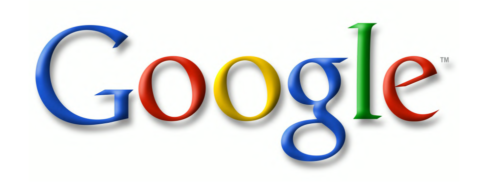
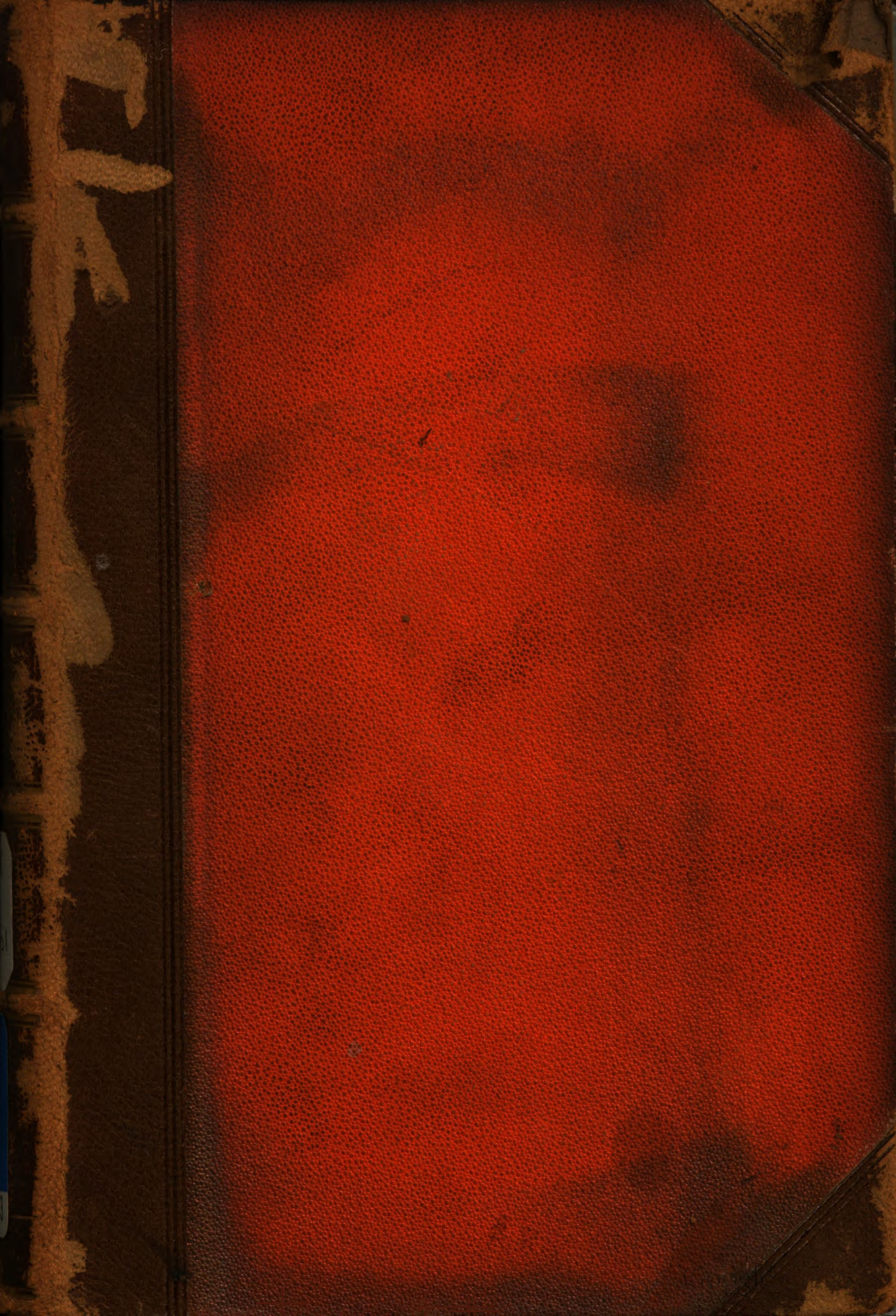
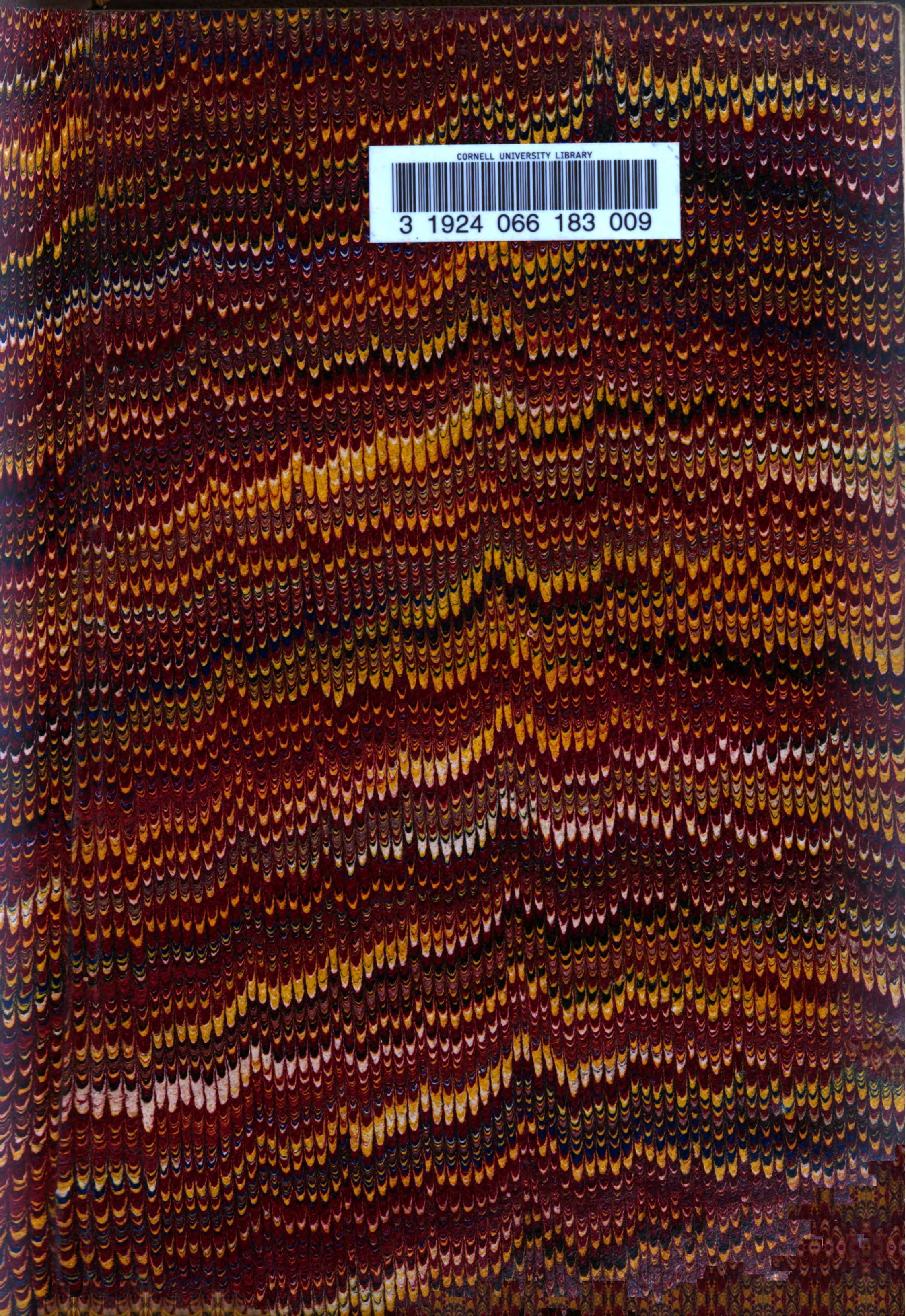





CORNELL UNIVERSITY
FOUNDED BY EZRA CORNELL



ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME VINGT ET UNIÈME

PARIS
Vve Ch. DUNOD & P. VICQ, ÉDITEURS
LIBRAIRES DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES
49, Quai des Grands-Augustins, 49

1894



ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1894 Janvier - Février

DESCRIPTION

D'UN

PROCÉDÉ DE TÉLÉPHONIE ET TÉLÉGRAPHIE SIMULTANÉES

PAR LES MÊMES FILS

J'ai déjà décrit ce procédé d'une manière sommaire dans le numéro des *Annales télégraphiques* de juillet-août 1889.

Depuis lors j'ai eu l'occasion de l'expérimenter avec succès sur le circuit téléphonique Paris-Lyon-Marseille (1890-91); puis sur le circuit Paris-Nantes (1892-93) et enfin sur l'un des deux circuits Paris-Londres (1893).

Aujourd'hui je me propose d'en reprendre l'exposé avec quelques détails, en indiquant, d'abord, les considérations qui m'ont amené à chercher un dispositif autre que ceux de van Rysselberghe et de Maiche, déjà connus à cette époque.

Lorsque l'on a établi à grands frais des conducteurs spéciaux pour constituer des circuits téléphoniques, alors qu'il était démontré que les fils de fer étaient

techniquement insuffisants, on s'est immédiatement demandé si l'on ne pourrait pas utiliser à leur tour ces nouveaux conducteurs pour des transmissions télégraphiques simultanées.

On exigeait, en même temps, de tout procédé permettant d'arriver à ce résultat les conditions suivantes :

Il *fallait* que les communications téléphoniques et télégraphiques, tout en étant simultanées, ne fussent nullement troublées les unes par les autres; que le dispositif fût applicable aux appareils télégraphiques à grande vitesse, tels que le Wheatstone et le Baudot, même sur les lignes de grande longueur; et enfin que le procédé *n'apportât pas de modification dans le montage télégraphique et surtout dans l'installation des postes téléphoniques centraux*, *ni dans leur mode ordinaire de fonctionnement.*

Telles sont les conditions que je crois être parvenu à remplir.

Le procédé Maiche, au contraire, exige, tout d'abord et par lui-même, une double transformation par induction des courants téléphoniques, ce qui supprime l'avantage des liaisons métalliques directes, et impose un mode particulier de fonctionnement; en même temps, il amène un changement notable dans les installations intérieures soit des postes télégraphiques, soit des postes téléphoniques centraux.

Quant au procédé van Rysselberghe, il est inapplicable sur des lignes de quelque importance aux appareils télégraphiques à grande vitesse. C'est ce que l'on a constaté dès que l'on a voulu mettre en service un appareil multiple Baudot sur la ligne téléphonique de Paris à Marseille même en prenant les deux fils asso-

ciés en quantité : les bobines de self-induction intercalées dans le circuit contrariaient d'une façon fâcheuse les nombreuses et rapides émissions de cet appareil.

En présence de cet insuccès on a essayé des appareils Hughes ordinaires; mais on a promptement reconnu que sur une telle ligne chaque émission de l'un des appareils se répercutait dans le Hughes installé sur le second conducteur, comme si les deux fils du circuit téléphonique étaient mêlés. On ne pouvait, en réalité, même avec cet appareil, disposer que d'un seul des deux conducteurs; aussi dans la pratique se résignait-on, pour avoir deux transmissions télégraphiques, à n'utiliser que l'appareil Morse ordinaire.

Et cependant des conducteurs tels que ceux-là (en cuivre de $4^{mm},5$) doivent pouvoir se prêter sans conteste à des émissions électriques au moins aussi nombreuses et aussi rapides que celles de n'importe quel appareil télégraphique connu, puisqu'ils transmettent sans déformation sensible les ondulations téléphoniques elles-mêmes. Leur emploi pour des transmissions Morse ne s'expliquait donc que par l'impuissance de faire mieux, et il n'était pas téméraire d'en poursuivre l'utilisation pour un appareil télégraphique rapide, quelque grande que fût la rapidité de ses émissions.

Le procédé que j'ai proposé, emploie les deux fils du circuit associés en quantité de façon à n'en former qu'un seul conducteur pour les courants télégraphiques; mais il permet d'affecter la ligne au service d'un appareil rapide, tel qu'un Wheatstone ou un multiple Baudot. De plus, comme je l'ai déjà dit, il n'amène aucun changement ni dans le fonctionnement ni dans l'installation des appareils téléphoniques et télégraphiques. Il

suffit, en effet, de mettre en dérivation, et en un point quelconque du parcours de la ligne (voir *fig.* 1 ou *fig.* 1[bis]), un électro-aimant, ou un solénoïde électromagnétique à double enroulement et de l'une quelconque *des formes et modèles que l'on rencontre en télégraphie ou dans l'industrie électrique.* On ne touche donc pas à l'installation du téléphone, qui peut fonctionner comme par le passé; ni à celle du télégraphe, dont il suffit d'amener le fil de ligne en un point déterminé de l'électro-aimant ou du solénoïde.

Il va sans dire que le dispositif représenté par la figure doit être répété en un autre point de la ligne pour le poste correspondant.

Les *fig.* 1 et 1[bis] sont deux figures qui représentent exactement la même chose; elles ne diffèrent l'une de l'autre que par le schéma de la bobine auxiliaire, laquelle est la même dans les deux cas, mais peut être figurée théoriquement de l'une ou de l'autre des deux manières.

Cette bobine comporte deux enroulements constitués au moyen de deux fils identiques, soigneusement isolés l'un de l'autre et enroulés simultanément sur le même noyau.

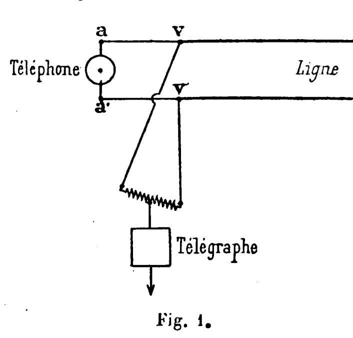


Fig. 1.

Les deux *fig.* 1 et 1[bis] montrent d'une façon assez explicite la disposition sur la ligne de cette bobine et de ses deux enroulements.

Les émissions électriques provenant de l'appareil télégraphique se partageront en V en deux parties égales et parcourront les deux enroulements de la bobine en sens inverse

par rapport à l'axe du solénoïde. Il s'ensuit que les courants télégraphiques n'éprouveront dans cette bobine aucun affaiblissement ou retard appréciable, du fait de la self-induction, parce que les flux d'induction magnétique dus à chaque enroulement sont à tout instant de sens contraires et sensiblement égaux.

Il n'en sera pas de même pour les ondulations émanant de l'appareil téléphonique T. On voit facilement, en effet, que les courants téléphoniques qui tendraient à passer par cette bobine, parcourraient chacun des enroulements dans le même sens par rapport à l'axe du noyau. La bobine agira donc comme bobine de self-induction vis-à-vis de ces courants, et ceux-ci se propageront de préférence sur les fils de ligne proprement dits, c'est-à-dire sur la droite de la *fig.* 1 ou 1 bis, les courants dérivés à gauche dans la bobine étant néglibeables grâce à l'inductance de celle-ci. (Je rappellerai que, si l'on désigne par l l'inductance de chacun des circuits, le circuit voisin étant ouvert, l'inductance de l'ensemble des deux circuits associés comme il vient d'être dit sera égale à $4\,l$.)

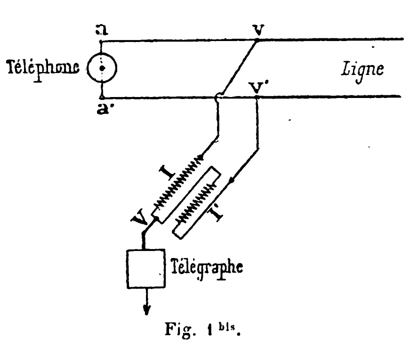


Fig. 1 bis.

De ce qui précède il résulte que les ondulations téléphoniques seront arrêtées par la bobine, qui d'un autre côté ne retardera en aucune façon les émissions télégraphiques.

Il reste à voir comment ces émissions ne produiront aucun bruit gênant dans les téléphones.

Ceci serait évident si, les deux enroulements de la bobine étant identiques entre eux, ce qu'il est facile de réaliser, on admettait que la même identité existât pour les deux fils de ligne. Dans cette hypothèse, les courants télégraphiques, en arrivant en V, se partagent en deux fractions rigoureusement égales entre elles; les chutes de potentiel de V à v, comme de V à v', sont les mêmes; et, par suite, les potentiels v et v' sont toûjours égaux, du moins en ce qui concerne les émissions télégraphiques qui, alors, ne détermineront aucun courant dans la branche téléphonique.

Mais on objectera, et non sans raison, que, par suite des défauts inhérents à toute ligne, les courants télégraphiques ne seront pas toujours rigoureusement égaux en Vv et Vv', qu'il n'y aura pas toujours égalité de potentiel en v et v', et que par suite on aura des bruits fâcheux dans le téléphone.

On peut répondre tout d'abord que cette différence entre les deux courants, que nous désignerons par I et I', provenant d'une très légère différence d'identité entre les deux fils de ligne, ne sera jamais bien grande elle-même; car, avec une grande différence d'état électrique des deux fils, l'expérience montre journellement que la correspondance téléphonique, indépendamment de tout système télégraphique superposé, est elle-même impossible.

J'ajoute que l'identité absolue des deux courants n'est pas indispensable. Admettons, en effet, que I' soit à un moment donné plus grand que I d'une quantité très petite que nous désignerons par i. Soit $I' = I + i$.

Supposons même que i soit la plus grande différence qui puisse existar à un moment quelconque entre I' et I.

Alors le courant total I du premier enroulement, et la fraction I du second, qui sont égaux et circulent en sens inverse par rapport à l'axe du solénoïde, se propageront sans obstacle en annulant mutuellement leurs effets d'induction électromagnétique, et produiront une même chute de potentiel, à partir de V, sur chaque fil de la bobine. Il ne reste donc plus à considérer que la différence très petite i, qui n'a pas d'importance au point de vue télégraphique, et qui tend à produire entre les points V et v' une chute de potentiel égale à ri, en désignant par r la résistance commune des deux enroulements.

Et cette chute additionnelle ri représente précisément la différence de potentiel qui tend à s'établir entre v et v', pour produire un courant parasite entre ces deux points et à travers le téléphone.

En un mot, la chute de potentiel, ou perte de charge maxima, qui puisse se manifester *plus ou moins vite* entre V et v est rI; celle qui tend de même à se manifester entre V et v' est $r(\mathrm{I}+i)$; la différence entre les deux, soit ri, représente l'excès de potentiel qui pourra exister en v' par rapport à v.

Par conséquent la première condition à remplir pour diminuer l'effet de ri sera de prendre pour r une valeur aussi faible que possible. Et, en poussant les choses à l'extrême, on voit que l'influence fâcheuse de cette différence de potentiel disparaîtrait entièrement si la résistance r était rigoureusemnt nulle. Mais alors il serait à craindre que les courants téléphoniques ne se perdissent complètement à travers ce court circuit : toutefois il n'en serait rien si la bobine, bien que de résistance nulle, présentait par ses deux enroulements accouplés vVv' une self-induction considérable. On

sait, d'autre part, que l'on peut réaliser des bobines répondant à cette condition d'avoir pour une self-induction donnée une résistance aussi petite que l'on voudra : il suffit pour cela d'augmenter convenablement les proportions de l'appareil en consentant une dépense suffisante de cuivre pour les fils des deux circuits.

Nous verrons ci-après une autre raison pour laquelle il importe d'avoir un coefficient de self-induction aussi élevé que possible.

Dans tous les cas il conviendra, en somme, que chacun des enroulements présente une très petite résistance avec une self-induction très grande; ou, si l'on veut, que pour chacun d'eux le rapport de la self-induction à la résistance $\frac{l}{r}$ soit aussi grand que possible. Si l'on se donne *a priori* la valeur de ce rapport et la forme générale de la bobine ou plutôt de son circuit magnétique, ainsi que la perméabilité magnétique du fer employé, les dimensions de l'appareil seront à peu près déterminées mathématiquement.

Je dirai incidemment que je suis parvenu ainsi à construire des électros pour lesquels ce rapport était de 6 environ, r étant évaluée en ohms et l en henrys (ou quadrants).

En réalité si l'on veut, dans la pratique, se dispenser de recourir à des bobines dépassant beaucoup les dimensions courantes (*), nous remarquerons que la fraction nuisible de courant i, la seule qui tende à

(*) Cette grosseur est, en général, proportionnée à la longueur et à la capacité de la ligne; par conséquent, il ne semble pas y avoir d'objection bien sérieuse à augmenter convenablement les dimensions de ces bobines pour de longues lignes qui elles-mêmes ont coûté fort cher.

produire en v' une différence de potentiel ri, ne se propagera pas instantanément dans l'enroulement qu'elle parcourt à cause de l'obstruction opposée par la self-induction de ce fil, combinée avec l'induction mutuelle de l'enroulement voisin. En un mot l'excès de courant i ne s'établira que progressivement, et ce n'est que progressivement aussi que le courant dans la seconde branche dépassera la valeur du courant de la première. Par suite, la différence de potentiel $v - v'$ ne se manifestera pas instantanément, mais bien avec une lenteur qui sera d'autant plus grande que le coefficient de self-induction de chaque enroulement, pris à part, sera plus élevé. On conçoit donc que dans ces conditions le bruit que tendrait à produire le commencement d'une émission télégraphique, soit insensible au téléphone, à cause de la lenteur des vibrations qu'elle provoquera dans cet appareil.

Mais il faut prévoir, au moment de la fin de l'émission télégraphique, les effets de l'extra-courant de rupture. C'est pour ce motif que, avant toute expérience (9 septembre 1890), j'avais indiqué l'utilité, et

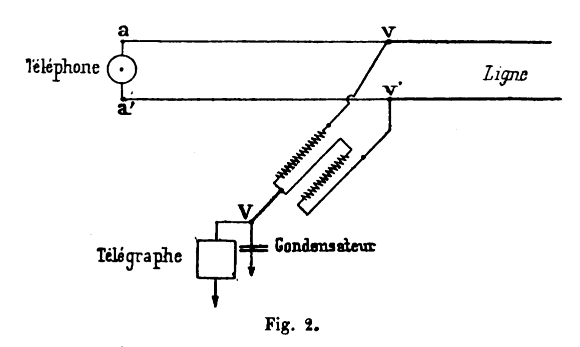


Fig. 2.

même la nécessité qu'il y aurait dans certains cas de mettre un condensateur en dérivation en V. (Voir

fig. 2.) Ce condensateur qui est souvent inutile dans la pratique, aura une capacité qui dépendra de l'appareil télégraphique en service, de la résistance et de la capacité de la ligne, et enfin de la résistance et de la self-induction de la bobine auxiliaire que l'on emploiera. L'adjonction de ce condensateur rappelle d'une certaine façon le condensateur que l'on trouve dans le système van Rysselberghe en dérivation sur la ligne; mais sa fonction en diffère notablement à cause du double enroulement de la bobine qui vient à la suite, chacun de ses deux fils réagissant l'un sur l'autre tant au commencement qu'à la fin de chaque émission télégraphique.

Il y a généralement dans tout transmetteur télégraphique un brusque passage d'une émission à l'émission suivante du courant, que celle-ci soit de même sens ou de sens contraire, de même intensité ou d'intensité différente. Il y a donc un moment où, dans ces conditions, le point V se trouve, par le jeu même du transmetteur, isolé de la source d'électricité. Si donc nous admettons comme précédemment que, un moment auparavant, I' était plus grand que I, on voit que le potentiel v, qui était plus grand que v' à cet instant, tend à reprendre brusquement la même valeur que v', non seulement par la disparition de ces deux courants émanés du transmetteur télégraphique, mais encore par la réaction inductrice du second enroulement sur le premier, comme il est facile de s'en rendre compte au moins d'une façon qualitative.

Et, si l'on ne prévoit pas une disposition particulière en vue de ce phénomène, un bruit sec pourra se produire à ce moment dans les récepteurs téléphoniques. C'est pour cela qu'il sera généralement utile sur des

lignes longues, et lorsque la valeur de r ne sera pas négligeable, de mettre en dérivation en V, comme je l'ai indiqué sur la *fig.* 2, un condensateur dont l'autre borne est en communication avec la terre.

En somme, il n'est pas absolument indispensable de recourir à des bobines de dimensions exagérées. On peut se contenter d'un modèle courant, sans cependant renoncer, pour une simplification mal entendue, à un type plus avantageux et qu'il est assez facile de réaliser.

Ainsi il semble nécessaire de n'admettre pour r que des valeurs très faibles toutes les fois que l'on veut mettre en ligne des appareils à marche très rapide, tels que le Wheatstone, qui, à un moment donné, peuvent émettre non seulement des courants intermittents, mais encore des courants véritablement périodiques ; et pour ces derniers, s'il est possible par la self-induction d'en diminuer l'intensité, on ne saurait en aucun cas modifier par ce moyen leur caractère de périodicité ; si cette périodicité correspond par sa fréquence à une certaine note musicale, on est à peu près sûr de percevoir au téléphone, comme bruit parasite, le son correspondant. Ce sera un son très faible, si l'on veut, mais qui gênera toujours un peu parce qu'il sera facilement perçu et reconnu même par des oreilles non exercées ni prévenues. Aussi je crois que, sur les grandes lignes et avec les appareils rapides appelés à les desservir, il sera toujours préférable d'employer des bobines de dimensions assez fortes pour présenter un rapport $\frac{l}{r}$ très élevé, et qu'il conviendra d'y adjoindre, ou tout au moins de prévoir le condensateur dont il a été question ci-dessus.

Les explications qui précèdent permettent de se rendre compte d'une façon générale du fonctionnement du système tant en ce qui concerne le télégraphe qu'en ce qui concerne le téléphone; et, d'une façon particulière, du rôle que doivent jouer les deux enroulements de la bobine auxiliaire et le condensateur au point de vue de l'amortissement des bruits ou des sons parasites. On déduit facilement de ces explications les qualités générales que doit présenter la bobine auxiliaire pour remplir les conditions les plus avantageuses, sans que ces conditions soient absolument nécessaires dans tous les cas de la pratique.

On peut, par exemple, déterminer r par la condition de ne pas dépasser une certaine valeur pour la différence de potentiel entre v et v' lorsque le régime permanent des courants I' et I est établi, cette différence étant alors égale à $r\,(I'-I)$. Quant à l'écart entre I' et I qui n'est généralement pas connu, on peut faire diverses hypothèses plausibles, et ces hypothèses donneront facilement une limite supérieure de $I'-I$ avec laquelle on déterminera pour r une valeur qui répondra certainement aux conditions exigées, $r\,(I'-I)$ étant également donné d'avance. Ainsi, on admettra que $I'-I$ sera une certaine fraction du courant normal I que l'on connaît, cette fraction étant d'ailleurs approximativement déterminée par cette considération qu'elle ne doit pas dépasser une certaine valeur au-dessus de laquelle le service téléphonique serait impossible, à cause des bruits d'induction provenant des fils voisins et indépendamment de toute transmission télégraphique simultanée.

Quant à l, on fixera sa valeur par cette condition que

la résistance apparente offerte aux courants téléphoniques soit assez élevée pour rendre inappréciable toute dérivation de ces courants dans la bobine. On remarquera toutefois que l'inductance opposée à ces courants est celle des deux enroulements associés de façon à ajouter leurs effets d'induction; par conséquent si l'inductance de l'un de ces enroulements est l pour un nombre de tours de fil n, l'inductance totale des deux fils sera $4\,l$ pour un nombre double de tours de fil *sur le même noyau.*

Je rappellerai à ce propos que la résistance apparente pour des courants périodiques, de période T, est

$$\sqrt{r^2 + m^2 l^2},$$

r étant la résistance totale ordinaire du circuit,
l son coefficient self-induction totale
et m la fraction $\frac{2\varpi}{T}$.

Cette résistance apparente, pour des valeurs de m comme celles que l'on rencontre avec les ondulations téléphoniques, est sensiblement égale à ml ; car alors r^2 est négligeable devant $m^2 l^2$, lorsque l est déjà lui-même supérieur à l'unité.

Dans le cas qui nous occupe on écrira donc que $4\,ml$ est supérieur ou au moins égal à une valeur fixée d'avance ; l sera ainsi déterminé, et la valeur trouvée conviendra généralement pour donner en même temps un rapport $\frac{r}{l}$ assez élevé.

Il importe de remarquer que ces conditions, une fois remplies pour les deux postes correspondants, seront également favorables aux courants télégra-

phiques d'arrivée et aux courants de départ. Pour s'en rendre compte il suffit de faire l'hypothèse extrême où l'on aurait pris pour *r* une valeur nulle ou sensiblement nulle : la principale conséquence de cette hypothèse sera que, à l'arrivée, la branche *téléphonique* sera en quelque sorte *mise en court circuit* par la bobine auxiliaire par rapport aux courants télégraphiques qui y arrivent. Les autres conclusions que nous avons examinées ci-dessus pour les courants au départ, s'appliquent aux courants d'arrivée.

Il faut cependant ajouter que l'expérience a montré, comme cela était prévu, qu'au poste d'arrivée les appareils téléphoniques se trouvent fort peu influencés par des courants télégraphiques qui ont déjà parcouru une longue ligne, et s'y sont en quelque sorte légèrement diffusés et amortis.

DÉTAILS PRATIQUES ET CAS PARTICULIERS D'INSTALLATION.

I. *Pour l'appel des postes téléphoniques il n'y a pas à prévoir de dispositif spécial.* — Ceci résulte de ce que j'ai dit à plusieurs reprises, que le système n'entraine aucun changement, ni dans l'installation du poste actuel téléphonique, ni dans celle du télégraphe, ni dans leur mode ordinaire de fonctionnement.

Pour s'en convaincre, il suffit de se reporter à la *fig.* 3. Sur ce schéma j'ai indiqué à gauche des points *a* et *a'* le détail d'une installation normale d'un numéro de tableau téléphonique, auquel aboutit la ligne interurbaine considérée, dans le poste central. On rencontre tout d'abord la clé double d'appel. Si l'on suppose que l'on presse sur cette clé, on voit que l'on coupe, en

premier lieu, toute communication avec tout le reste des appareils quels qu'ils soient qui se trouvent à gauche; et qu'ensuite on met la pile d'appel sur la ligne par ses deux pôles entre les points v et v'.

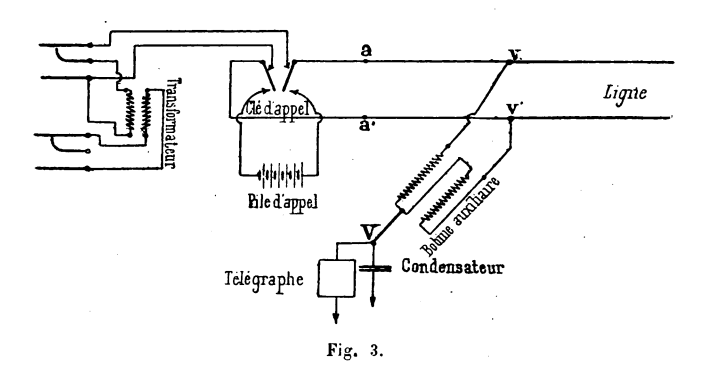


Fig. 3.

On peut objecter que le courant de cette pile se perdra en grande partie dans le circuit $v\mathrm{V}v'$ de la bobine auxiliaire. Ceci n'a pas grand inconvénient si la résistance de la pile est négligeable ou faible par rapport à celle de $v\mathrm{V}v'$; en général, cette dérivation ne prendra pas à elle seule tout le débit de la pile, et il passera sur la ligne un courant permanent d'intensité suffisante pour déterminer la chute de l'annonciateur du poste extrême. Dans l'hypothèse contraire, c'est-à-dire dans le cas où la bobine auxiliaire absorberait à elle seule la majeure partie du courant permanent, comme cela est à craindre au poste d'arrivée, le jeu de l'annonciateur serait tout de même assuré, grâce à un phénomène provoqué par la disposition spéciale de la bobine auxiliaire. Supposons, par exemple, que la *fig.* 3 représente maintenant le poste opposé et que le courant d'appel apporté par la ligne soit tout entier dérivé dans le circuit $v\mathrm{V}v'$. Au moment où le poste

appelant relèvera la clé d'appel, le courant étant brusquement interrompu, ainsi que le circuit de la ligne, il se produira dans $avVv'a'$, grâce à la très forte inductance de la bobine, un *extra-courant* très énergique et de durée suffisante pour provoquer la chute de l'annonciateur dans ce même poste.

En un mot il n'y a aucun dispositif nouveau à prévoir pour l'appel téléphonique; le poste central conserve l'installation qu'on a cru devoir lui donner indépendamment de toute transmission télégraphique, installation qui était représentée en bloc sur les *fig.* 1 et 2 par un cercle compris entre les points a et a', et dont j'ai donné un exemple un peu plus détaillé sur la *fig.* 3 à gauche des points a et a'. Cet exemple est celui que l'on rencontre généralement dans la pratique pour une installation bien faite, simple et symétrique; mais il ne représente pas une disposition obligatoire. Ainsi, sans même parler des installations compliquées et dissymétriques que l'on trouve dans certains tableaux, on peut supposer et admettre, sur la *fig.* 3, que les conducteurs téléphoniques soient coupés par des condensateurs : on pourra, encore dans ce cas, provoquer dans la bobine auxiliaire un extra-courant suffisant pour actionner l'annonciateur par la charge et la décharge des condensateurs.

II. *La communication téléphonique peut être prise ou donnée, soit métalliquement fil à fil, soit par un transformateur ou un autre intermédiaire.* — On sait, en effet, que s'il convient de pouvoir prendre la communication métallique à laquelle il serait absurde de renoncer *a priori*, il est quelquefois nécessaire d'établir cette communication par un intermédiaire qui isole le circuit interurbain du circuit local. C'est le cas, par

exemple, d'un circuit d'abonné qui présenterait un défaut d'isolement dissymétriquement placé ; c'est encore le cas où ce circuit d'abonné est à simple fil.

Tous ces cas ont été prévus avant toute superposition de transmission télégraphique : chaque numéro interurbain comporte deux jacks de connexion, et la téléphoniste se servira de l'un ou de l'autre suivant qu'elle voudra donner la communication métalliquement ou par l'intermédiaire d'un transformateur (voir *fig.* 2).

Mais on emploie ainsi un transformateur qui a été spécialement construit et installé en vue du service de la ligne sur laquelle il est monté, au lieu de subir, comme dans le système Maiche, une transformation qui peut être nuisible surtout lorsqu'elle se répète à chaque extrémité de la ligne. On sait, en outre, que ce transformateur sert encore à provoquer, pour l'appel, la chute du volet de l'annonciateur.

III. *Cas d'un poste téléphonique intermédiaire.* — C'était le cas de mes premières expériences sur la ligne de Paris à Marseille, avec un poste téléphonique intermédiaire à Lyon.

La *fig.* 4 montre le dispositif adopté dans ce poste.

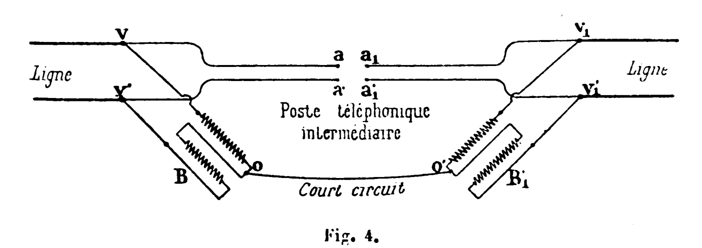


Fig. 4.

On sait que dans toute installation téléphonique de ce genre les deux côtés du circuit interurbain sont amenés

au tableau, chacun sur un numéro. J'ai représenté en aa', $a_1 a'_1$ les entrées de ces deux sections sur ce tableau. Telle est la disposition ordinaire, indépendamment de tout système télégraphique, qui permet sur le tableau central de prendre la communication, soit sur une section, soit sur l'autre, ou d'établir la liaison entre les deux sections, c'est-à-dire entre les deux postes extrêmes, suivant les demandes.

Il n'y aura rien à changer à cette installation lorsqu'on voudra superposer un service télégraphique entre les deux postes extrêmes (Paris et Marseille) avec des appareils à grande vitesse. Il suffira d'appliquer au poste intermédiaire et sur chaque côté de la ligne le même dispositif que nous avons étudié ci-dessus : c'est-à-dire de brancher sur chacune de ces sections une bobine semblable à celles que nous avons déjà décrites, et de relier ces bobines entre elles en oo', chacune d'elles devant à tour de rôle transmettre à l'autre les courants télégraphiques qui lui viennent de sa section.

On remarque immédiatement que ces courants télégraphiques ne sont nullement influencés par la présence de ces bobines qui ne leur opposent aucun effet de self-induction, puisque chacun de leurs enroulements se trouve parcouru par des courants égaux, mais de sens contraires.

Les ondes phoniques, au contraire, seront arrêtées ou tout au moins obstruées par ces bobines pour la même raison qu'aux postes extrêmes ; de telle sorte que les deux sections seront ainsi séparées l'une de l'autre au point de vue téléphonique, le poste aa' pouvant parler avec le côté gauche, et le poste $a_1 a'_1$ avec le côté droit de la ligne sans qu'il y ait mélange

entre ces deux postes. On voit, d'ailleurs, que s'il passait quelque chose des courants téléphoniques de aa' vers $a_1a'_1$, ou réciproquement, ces courants quoique très faibles seraient fermés sur leur bobine respective B ou B_1, sans qu'aucun d'eux puisse passer d'une section à l'autre.

C'est un peu pour ce motif, et pour éviter tout mécompte, que je crois bon d'employer deux bobines au poste intermédiaire ; car autrement cette même disposition peut être réalisée avec une seule bobine dans ce poste, comme il est facile de s'en convaincre.

Enfin on peut, sans interrompre ni influencer les transmissions télégraphiques, établir la communication téléphonique entre les deux postes extrêmes par le jeu ordinaire des organes du poste central, sans modification de ces organes, soit métalliquement, soit par l'intermédiaire d'un transformateur. On remarquera qu'en établissant la liaison métallique, fil à fil, on supprime en quelque sorte les résistances des bobines sur la ligne; mais, comme je l'ai déjà dit, on a soin d'employer des bobines de résistances faibles, et alors la variation de la résistance totale de la ligne est négligeable pour les courants télégraphiques qui la parcourent.

IV. *Cas d'un poste télégraphique intermédiaire.* — La *fig.* 5 représente la disposition à adopter pour le cas d'un poste télégraphique intermédiaire.

Ce cas ne diffère pas essentiellement du cas général, puisque dans le cas général nous avons vu que la bobine auxiliaire, qui caractérise le système, pouvait être branchée en un point quelconque du parcours du circuit téléphonique interurbain, sans rien changer à ce circuit, les prises de contact étant en vv' tout près

de l'un des postes téléphoniques, ou bien en $v_1 v'_1$ sur le parcours de la ligne.

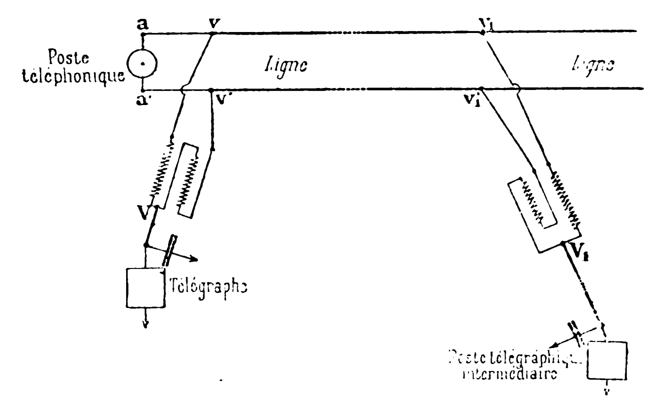


Fig. 5.

J'ai seulement présenté ce cas particulier pour montrer que le système est également applicable sans la moindre difficulté au service dit *de trois postes télégraphiques en dérivation*, les branches de cette *dérivation* étant constituées avec tout ou partie du circuit téléphonique.

En toute hypothèse, il n'y a aucun changement à introduire dans le circuit et les postes téléphoniques, qui continuent à fonctionner comme s'ils étaient seuls sur la ligne; et l'on peut dire que les appareils télégraphiques sont simplement greffés sur les conducteurs téléphoniques.

V. *Cas d'un poste télégraphique et d'un poste téléphonique intermédiaires.* — Ce cas est représenté par la *fig.* 6. C'est la même solution que celle du cas n° III ci-dessus, avec un appareil télégraphique en plus et en dérivation en *q*. C'est aussi, si l'on veut, une combinaison des exemples III et IV.

On a ainsi trois appareils télégraphiques en correspondance par dérivation, avec un poste téléphonique intermédiaire; et ce dernier conserve l'usage du circuit

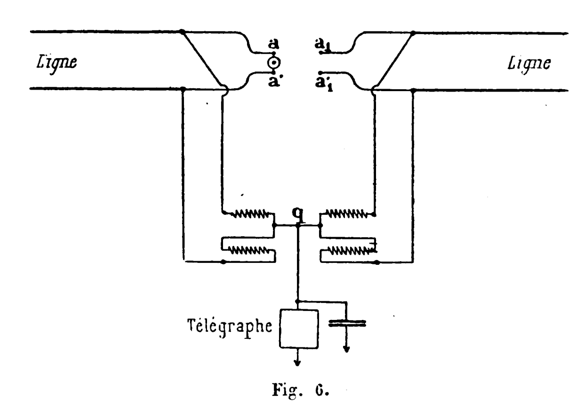


Fig. 6.

comme s'il n'y avait aucune transmission télégraphique superposée; c'est-à-dire qu'il peut parler à volonté avec l'un ou l'autre des postes extrêmes, ou avec les deux, ou bien mettre ces deux postes extrêmes en communication directe. Cette communication directe pourra alors être donnée, soit métalliquement fil à fil, soit au moyen d'un transformateur; mais dans ce cas ce sera le transformateur du poste téléphonique qui sera utilisé, c'est-à-dire un transformateur généralement approprié à la ligne, et que d'ailleurs la téléphoniste pourra, *à volonté*, intercaler, supprimer ou remplacer par tout autre suivant les indications du service.

VI. *Cas où la ligne est coupée par un poste télégraphique à deux directions.* — Dans l'exemple que nous avons étudié ci-dessus, comme dans l'exemple n° III, c'est par un poste téléphonique à deux directions que la ligne est coupée. Mais il peut être néces-

saire de couper la ligne par un poste *télégraphique* intermédiaire qui aura, lui, à communiquer sur une section ou sur l'autre, ou à donner la communication directe aux deux appareils *télégraphiques* extrêmes. Le dispositif qui résout cette petite difficulté est indiqué par la *fig.* 7.

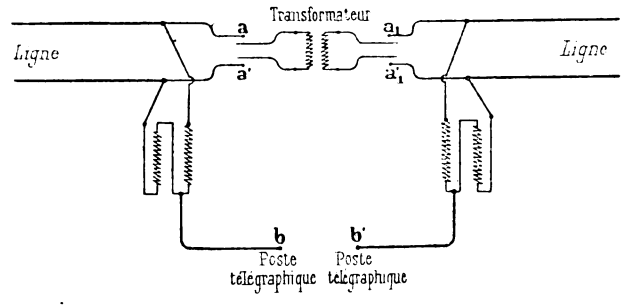


Fig. 7.

On voit immédiatement que le circuit téléphonique est coupé en deux sections, qui peuvent être desservies chacune par un téléphone et par un télégraphe. En d'autres termes, le poste télégraphique et le poste téléphonique sont, l'un et l'autre, à deux directions.

Il importe de remarquer qu'il n'est nullement indispensable que ces deux postes soient dans le même local, ou même à proximité l'un de l'autre.

Le poste téléphonique pourra correspondre soit dans un sens, soit dans l'autre, soit donner la communication téléphonique aux deux postes extrêmes. Mais pour donner cette communication directe, il faudra généralement employer un transformateur. Ce sera, par exemple, un transformateur intercalé sur un quelconque des cordons de service du bureau central. C'est ce que représente la *fig.* 7. Il va sans dire que ce même transformateur recevra les signaux de rappel ou de

fin de conversation sans la moindre difficulté, par un des dispositifs connus et en usage dans les bureaux centraux.

Si d'aventure on voulait que les deux postes extrêmes pussent se rappeler mutuellement sans l'intervention du personnel du bureau intermédiaire, il serait facile de résoudre cette question au moyen de transformateurs intermédiaires auxquels on ferait jouer le rôle de translateurs, ou, en d'autres termes, que l'on disposerait en translation entre les deux sections de la ligne.

On voit que, dans ce qui précède, le transformateur est employé pour couper la ligne par rapport aux courants continus, tout en lui laissant la continuité métallique : c'est un usage auquel *les transformateurs sont employés depuis l'origine de la téléphonie*.

Mais ici il importe d'observer que l'emploi du transformateur est, comme dans les autres cas examinés, laissé à l'appréciation du service téléphonique : le poste intermédiaire pourra, par exemple, ne pas l'employer pour sa propre correspondance ou celle de ses abonnés avec la section de droite ou avec la section de gauche; et pour donner la communication entre les deux sections, s'il se sert d'un transformateur il emploiera un transformateur convenablement disposé et approprié à la ligne.

Au point de vue télégraphique, il est à peine besoin de faire remarquer que le poste intermédiaire conservera toutes les facultés ordinaires d'un tel poste; c'est-à-dire que, en outre des communications sur une section ou sur l'autre, il pourra, par exemple, donner lui-même la communication directe entre les deux sections, ou s'établir en embrochage, ou enfin se placer

en dérivation. Mais alors on retombe sur l'exemple précédent, et dans ce cas le transformateur téléphonique n'est pas indispensable, comme nous l'avons vu, entre aa' et a_1a'.

Les exemples qui précèdent me paraissent suffisamment variés pour démontrer, sans avoir besoin de les multiplier davantage, qu'il est facile de trouver la solution dans chaque cas de la pratique courante.

Mais de tous ces exemples il ressort cette remarque importante, sur laquelle je ne crains pas de revenir et d'insister, que les transmissions télégraphiques peuvent être, de la manière la plus simple, superposées aux transmissions téléphoniques sans aucune modification préalable des circuits ou des installations intérieures du service téléphonique.

A titre d'indication je dirai qu'il convient de placer la bobine auxiliaire le plus près possible d'un point quelconque du parcours du circuit téléphonique et le condensateur le plus près possible de l'appareil télégraphique. On s'en rendra compte facilement.

Si, par exemple, le poste téléphonique et le poste télégraphique sont distincts et même éloignés l'un de l'autre, il conviendra de placer la bobine auxiliaire en dehors du poste télégraphique, près d'une rosace ou d'un poste de coupure du circuit téléphonique, et l'on reliera le point V de cette bobine à l'appareil télégraphique au moyen d'un fil simple ordinaire ou d'un seul conducteur d'un câble ; quant au condensateur, il sera placé en dérivation sur ce conducteur dans le poste télégraphique même ou à sa sortie. De cette façon l'influence du condensateur, même de grande capacité,

sera sensiblement nulle par rapport à la vitesse de transmission télégraphique, et d'ailleurs d'autant plus faible que l'on aura une plus faible résistance entre ce condensateur et le siège de la force électromotrice du courant transmetteur.

Quant aux capacités qu'il convient d'adopter suivant les cas pour ce condensateur de compensation, la pratique m'a déjà indiqué des résultats qui peuvent servir d'indications, mais qui ne me semblent pas encore d'un caractère assez général et assez certain pour que je les consigne ici. Je me contenterai de dire à cet égard qu'il conviendra, avant toute installation sur une ligne un peu longue, de prévoir l'emploi de ce condensateur, de le mettre d'abord en service, puis dès les premiers jours d'examiner l'effet produit au téléphone lorsqu'on fait varier sa capacité et enfin lorsqu'on le supprime complètement. Cet examen peut être fait à chaque poste extrême sans avoir à se préoccuper des expériences analogues qui pourraient être tentées à l'autre poste ; et si l'expérience démontre que le bruit n'augmente pas sensiblement lorsque la capacité est réduite à zéro, on pourra sans hésiter supprimer complètement le susdit condensateur.

Les principaux essais de ce système de télégraphie et de téléphonie simultanées ont été faits :

1° Sur le circuit de Paris à Marseille, avec un poste téléphonique intermédiaire à Lyon, en 1890-91. C'est la disposition indiquée sur la *fig.* 4. Les appareils télégraphiques qui ont pu être ainsi superposés aux transmissions téléphoniques, sont le Wheatstone automatique, marchant à toute vitesse ; puis l'appareil Baudot quadruple. Et dans ce dernier cas c'est l'ap-

pareil faisant le service ordinaire entre Paris et Marseille qui, à un moment donné, a été reporté sur le circuit téléphonique.

2° Sur le circuit de Paris à Nantes. Là encore on a fait des essais avec le Wheatstone à toute vitesse ; puis on a fait le service télégraphique ordinaire du Baudot quadruple, en reportant cet appareil sur le circuit sans entraver le service téléphonique.

3° Sur un des deux circuits de Paris à Londres, avec Hughes et avec le Wheatstone simple et duplex.

Les résultats ont été très bons ; mais ils ont surtout confirmé les prévisions que j'avais énoncées en ce qui concerne l'influence des valeurs relatives de la résistance et de la self-induction des bobines employées et l'effet de compensation du condensateur pour les lignes longues ou de grande capacité.

Cette influence a pu être mise en évidence grâce aux diverses bobines auxiliaires que j'avais fait construire et qui ont pu être essayées.

J'ai réalisé divers modèles pour lesquels les valeurs du rapport $\frac{l}{r}$ ont été successivement de :

$$\frac{1}{30}, \quad \frac{1}{10} \quad \text{et même} \quad \frac{6}{1}.$$

J'ajouterai que, avec les bobines du dernier type, j'ai pu faire descendre la résistance r au-dessous de 1 ohm.

Il est certain que théoriquement, et par suite dans la pratique, le système ne réside pas essentiellement dans l'emploi de telle ou telle forme de bobine, ni dans l'adoption de telle ou telle valeur de résistance ou de

self-induction ; mais il n'en était pas moins très utile de bien faire ressortir leur influence pour que, dans la pratique, on pût ensuite en faire son profit au lieu de faire une application aveugle d'un principe non étudié ou même douteux.

Cette étude longue et difficile, quoique très intéressante, m'a été singulièrement facilitée par le concours actif d'abord de M. l'ingénieur de la Touanne, qui a présidé à mes premiers essais entre Paris et Marseille, qui a dirigé la construction des bobines que j'avais calculées et l'a rendue pratique ; puis de M. l'ingénieur Massin, qui a réussi à rendre pratiques elles-mêmes les mesures, jusque-là peu connues, des coefficients de self-induction, qui a fait sur mes bobines de nombreuses déterminations de ces coefficients et a pu me montrer ainsi, avec d'autres indications utiles, plusieurs corrections à faire dans ces constructions sortant de la pratique journalière.

Et comme l'étude complète et raisonnée de ce système était le but principal que je m'étais assigné, je ne saurais méconnaître la part considérable de collaboration qui revient à ces deux ingénieurs.

M. Cailho.

NOTE

SUR LE MODÉRATEUR A AILETTES

DU TRANSMETTEUR WHEATSTONE

Le régulateur du transmetteur Wheatstone est bien connu des télégraphistes, cependant on entend souvent dans les bureaux, donner des explications incomplètes de son fonctionnement. L'objet de cette note est d'entrer dans quelques détails. Le lecteur connaît le mécanisme dont il s'agit. Le mouvement d'horlogerie est mû par un poids. Le modérateur à ailettes est actionné par un petit disque « intermédiaire », roulant par sa tranche entre deux disques parallèles de même nature. Le premier fait corps avec un mobile du mouvement d'horlogerie, et le second est calé sur l'axe même du modérateur.

C'est la force F d'un ressort-lame, qui presse le disque modérateur contre la roulette intermédiaire et le disque moteur. Tant que les couples qui agissent sur les divers disques sont inférieurs aux moments dus à la force de frottement Ff, le travail est transmis intégralement et la roulette roule sans glisser. Il y aurait glissement au contraire, si une goutte d'huile venait diminuer le coefficient de frottement f. Le système doit donc être maintenu en bon état de propreté.

Étudions maintenant la loi du mouvement du modérateur à ailettes. Ce problème est bien connu. Pour *sim-*

plifier, supposons que le moment d'inertie I est constant et que la résistance de l'air donne le couple $h\omega^2$, (ω étant la vitesse de rotation). Si C est le couple moteur, c le couple résistant, on aura l'équation différentielle

$$I\frac{d\omega}{dt} = C - c - h\omega^2$$

d'où l'on tire

$$\frac{\frac{C-c}{h} - \omega^2}{\frac{C-c}{h}} = e^{-\frac{2h\theta}{I}} \qquad \left(\theta = \int_0^t \omega\, dt\right)$$

θ étant l'angle décrit, supposé nul à l'origine des temps.

Ainsi donc ω^2 aura atteint la valeur limite $\frac{C-c}{h}$ à n p. 100 près, dès que l'on aura pour l'angle décrit :

$$\theta \geqq \frac{I}{2h}\log\frac{100}{n}.$$

L'action du régulateur sera plus prompte si les ailettes sont plus larges ; mais la vitesse obtenue sera mieux conservée si le moment d'inertie est plus grand. En cas de trouble accidentel dans la vitesse de régime, l'oscillation de vitesse gagnera en durée ce qu'elle perdra en amplitude.

Cela posé, appelons a la distance de l'axe du disque moteur à l'axe du modérateur et r la distance de ce même axe au plan de la roulette. La manette que l'on peut déplacer devant un arc de cercle gradué a justement pour utilité de faire varier r en vue d'obtenir différentes vitesses.

On aura, entre la vitesse Ω de rotation du disque moteur, et la vitesse de rotation ω du modérateur, la

relation suivante :

$$r\Omega = (a - r)\omega.$$

Si K est le couple agissant sur le disque moteur, on aura pour l'équilibre de la roulette

$$\frac{K}{r} = \frac{C}{a - r}.$$

Il est donc facile de déterminer la vitesse Ω du transmetteur en régime permanent. On a en effet :

$$\Omega = \frac{a-r}{r}\omega = \frac{a-r}{r}\sqrt{\frac{C-c}{h}} = \frac{a-r}{r}\sqrt{\frac{a-r}{r}\frac{K}{h} - \frac{c}{h}}.$$

Cette formule, qui résout le problème, indique que si r augmente, Ω diminue.

Décembre 1883.

POMEY.



CABLE MARSEILLE-TUNIS

Une nouvelle usine destinée à la fabrication des câbles sous-marins a été fondée à Saint-Tropez (Var), par M. A. Grammont, adjudicataire du câble Marseille-Tunis.

Cet industriel possédait à Pont-de-Chéruy (Isère) une vaste usine pour la fabrication du cuivre électrolytique, l'affinage et le tréfilage du cuivre, le traitement de la gutta-percha et du caoutchouc, la fabrication des câbles souterrains téléphoniques et des câbles isolés à haute tension pour la lumière électrique. Rien n'était donc plus aisé que de fabriquer l'âme du câble Marseille-Tunis à l'usine du Pont-de-Chéruy où les ouvriers étaient déjà exercés à ces sortes de travaux ; seulement, il a été nécessaire d'y accroître les moyens d'action par suite de la grande quantité de matières qu'il a fallu mettre en œuvre en un laps de temps relativement peu considérable.

Le traitement de la gutta a lieu par les procédés employés ordinairement dans les autres maisons ; cependant M. A. Grammont a inventé des machines spéciales pour recouvrir à la fois un grand nombre de fils de cuivre, quel que soit le diamètre des âmes, et tout en maintenant cependant leur longueur moyenne à deux milles marins, sans soudure intermédiaire.

A Saint-Tropez, au contraire, tout était à faire.

L'usine a été installée sur le bord de la Méditer-

ranée, dans une baie bien abritée des principaux vents régnants. Elle comprend deux constructions de structure différente, bien que réunies l'une à l'autre.

La première est un bâtiment rectangulaire composé de six travées de 14 mètres d'ouverture. La longueur de ce bâtiment est de 52 mètres, il abrite la machine à vapeur, les chaudières, le dépôt des âmes, les câbleuses et l'atelier de réparation.

Devant lui se trouve le bâtiment des cuves comprenant cinq travées de 12 mètres d'ouverture et de 24 mètres de longueur. Cette construction est mitoyenne de la mer et seul le passage de servitude maritime empêche les flots de baigner le mur de clôture. L'usine est donc située dans d'excellentes conditions pour ces sortes de travaux.

Toutefois le niveau du sol n'étant qu'à $0^{m},50$ au-dessus de celui des eaux d'équinoxe, et la Méditerranée n'ayant pour ainsi dire pas de marée, des précautions spéciales ont dû être prises pour vider aisément les cuves, quelle que soit la hauteur de la mer.

Dans le plan primitif un bâtiment spécial devait être construit en arrière de ceux-ci, du côté des terres, pour l'installation des bureaux, des salles d'expérience et du magasin. Le temps ayant manqué, ces dépendances ont été installées dans une des travées de 12 mètres, mais l'usine sera complétée dans ce sens.

Un appontement de 106 mètres de long sur 3 mètres de large, muni de rails, permet le débarquement rapide et direct des marchandises qui arrivent toutes par mer, sauf les âmes.

La machine à vapeur de 200 chevaux, tournant à 100 tours, est disposée de manière à pouvoir marcher à échappement libre, à condensation par mélange avec

emploi d'eau douce, et à condensation par surface avec utilisation d'eau de mer pour le réfrigérant. Les variations dans le niveau des puits d'alimentation en hiver ou en été, rendent ces précautions indispensables.

Deux corps de chaudières servent à fournir la vapeur nécessaire tant à la machine qu'aux diverses bâches à goudron et à la câbleuse pour l'atterrissement. Une des chaudières est toujours prête à remplacer celle qui viendrait à manquer.

L'installation de la lumière électrique a permis de travailler la nuit avec la plus grande facilité.

Les câbleuses sont du modèle indépendant, c'est-à-dire que les recouvreuses de jute ne sont pas montées sur le même axe que les câbleuses proprement dites. Ce système semble préférable à tout autre, au point de vue de la qualité et de la rapidité du travail.

La câbleuse pour la fabrication du modèle à double armature est une des plus fortes qui existent; elle est construite pour supporter dix-huit bobines, chacune d'elles pouvant contenir une tonne de fils de fer. Elle est mue par une machine à vapeur spéciale.

Le dévidage de jute est disposé de telle sorte qu'on puisse indifféremment utiliser cette matière soit en écheveaux, soit en pelotes.

Les fils de fer, après avoir été essayés à la rupture et au point de vue de la galvanisation, sont dévidés sur les bobines des câbleuses; les bottes d'un seul morceau, et qui pèsent jusqu'à 50 kilogrammes l'une, sont réunies entre elles par le brasage.

A cet effet, les extrémités des fils d'acier de petit diamètre sont préalablement limées en biseau, bien ajustées, ligaturées ensuite par un fil de laiton de

diamètre convenable, et brasées à l'aide d'une lampe éolypile. Ce procédé présente de sérieux inconvénients; les brasures sont évidemment aussi bien faites qu'au chalumeau, mais l'entretien des lampes est difficile et coûteux. Une petite usine à gaz sera, pour ce motif, installée prochainement.

Les fils de gros diamètre sont recuits à leurs extrémités, taillés en biseau au balancier, ajustés à la lime puis brasés au feu de forge.

La salle de dépôt des âmes est un vaste bâtiment de 24 mètres de long sur 14 mètres de large. Elle est divisée dans toute sa longueur en trois compartiments étanches de $2^m,50$ de large sur $1^m,25$ de profondeur. Elle peut donc contenir une grande quantité d'âmes.

Un pont roulant est établi sur toute la longueur et toute la largeur de la salle, et facilite la manœuvre des bobines d'âmes.

Un appareil semblable est d'ailleurs installé au-dessus de chaque câbleuse et permet d'échanger les bobines de fils de fer avec la plus grande rapidité. Ce changement s'opère en une seule fois pour les quinze fils d'acier exigés pour l'armature du câble de grands fonds, mais les brasures sont réparties sur une très grande longueur de câble.

Pour les câbles intermédiaires et d'atterrissement, une équipe de nuit procède à ce travail, et tous les matins la câbleuse est préparée pour marcher la journée entière sans interruption.

Les transmissions et toute la partie mécanique de l'usine ont été étudiées, construites et ajustées aux usines de Pont-de-Chéruy, il n'y a plus eu qu'à les mettre en place à Saint-Tropez.

Les câbleuses ont été fournies par l'industrie an-

glaise, les principaux établissements français auxquels M. Grammont s'était adressé pour leur construction sur des plans fournis par ses ingénieurs, ayant demandé un trop long délai pour leur livraison.

Le 18 octobre 1891, le premier coup de pioche fut donné dans le vignoble sur lequel devait être construite l'usine, et le 20 juin 1892 le câble était commencé.

Le câble Marseille-Tunis présentait, comme tous ceux demandés jusqu'ici par l'Administration des Télégraphes, la spécification de 48 kilogrammes de cuivre et 63 kilogrammes de gutta-percha; mais le cahier des charges généralement adopté avait été modifié en ce qu'il était fixé, par mille, un maximum de 1.500 megohms et un minimum de 300 megohms pour l'isolement du diélectrique après deux minutes d'électrification.

Les âmes reçues à Pont-de-Chéruy par le service de la vérification du matériel, étaient expédiées à Saint-Tropez par chemin de fer.

Afin d'éviter les altérations possibles des âmes pendant leur transport, il avait fallu prendre des précautions spéciales. A cet effet, elles étaient enroulées sur des bobines de bois présentant, à l'extérieur, la forme de caisses carrées dont les quatre couvercles latéraux devaient être vissés sur deux autres faces réunies elles-mêmes par des boulons et séparées par un noyau en tôle. Intérieurement, ces bobines étaient capitonnées par de fortes toiles, et tous les assemblages étaient vissés afin qu'aucune pointe ne pût perforer la gutta.

Après avoir été plombées par les agents de l'État, les extrémités étaient scellées par un fort capuchon en gutta-percha; l'humidité ne pouvait donc pas

pénétrer entre le toron de cuivre et la gutta-percha.

Les bobines pleines et placées sur wagon étaient recouvertes d'une forte couche de paille que l'on avait soin d'imbiber complètement d'eau quelques instants avant leur départ.

Les envois toujours faits par chargement complet étaient expédiés par trains de messageries jusqu'à Saint-Raphaël, où ils arrivaient deux jours après. Dans cette gare il était nécessaire de les changer de wagons, la ligne du Sud de la France qui dessert Saint-Tropez étant à voie étroite.

Les précautions indiquées ci-dessus étaient prises aussi au point de transbordement.

Les bobines étaient amenées à l'usine par un camionnage spécial, les transports se faisant le soir fort tard ou le matin avant l'ardeur du soleil. Dans tous les cas d'ailleurs un fort arrosage des bobines à l'arrivée en gare, au chargement et même en route, empêchait toute élévation de température.

Les précautions ont été si bien prises qu'aucune bobine d'âmes n'a été avariée, et que les qualités électriques de l'âme n'ont été en aucune façon altérées par ces complications d'expéditions et de transports.

Il ne saurait d'ailleurs être pris trop de soins pour ces transports, et les dépenses effectuées dans ce but sont insignifiantes par rapport au prix de ce modèle d'âmes (935 francs le kilomètre, d'après les dernières adjudications).

A leur arrivée à l'usine, les caisses étaient transformées en bobines par l'enlèvement des quatre couvercles latéraux, et immédiatement plongées dans les cuves, préalablement remplies d'eau, de la salle de dépôt des âmes.

Toutes les âmes étaient vérifiées à nouveau, et avant câblage, par les Ingénieurs du gouvernement qui s'assuraient, en outre, de l'adhérence et du centrage des couches de gutta.

L'isolement était ramené à 24° à l'aide de la table spéciale dont il sera question ci-après et qui avait été dressée à l'usine de Pont-de-Chéruy, tant pour le cuivre que pour la gutta, par les soins de M. le contrôleur Jacquin, du service de la vérification du matériel.

Cette âme reconnue bonne était alors recouverte de jute, et lovée dans de petites cuves situées derrière les câbleuses proprement dites.

Ces âmes recouvertes étaient ensuite soudées les unes aux autres, et chaque soudure essayée avec le plus grand soin ; mais il sera observé ici que les meilleurs essais en cette matière ne signifient pas grand'chose, attendu qu'il faut qu'une soudure soit bien mauvaise pour que vingt-quatre heures après sa fabrication elle paraisse déjà défectueuse. Ce n'est qu'au bout de plusieurs jours qu'une soudure, si elle a été mal confectionnée, apparaît mauvaise comme elle l'est en réalité.

Le 20 juin 1892 le câble fut donc commencé, mais la chaleur particulièrement forte de l'été obligea à interrompre presque aussitôt la fabrication, l'eau de mer qui servait de réfrigérant avait atteint 26° et la gutta-percha était devenue difficile à travailler, la moindre compression amenant un écrasement de la matière. Un personnel exercé depuis longtemps aurait seul été en état de faire ce travail et de tels ouvriers n'existaient pas, il fallait au contraire les former.

Malgré le désir d'arriver dans les délais voulus, malgré le stock d'âmes qui s'accumulaient dans les

cuves du dépôt, on dut suspendre la fabrication jusqu'au 25 août. A cette époque la chaleur avait quelque peu diminué, les nuits tout au moins étaient plus fraîches, et l'eau n'avait plus que 18°. En outre, pendant cette interruption, les ouvriers avaient été exercés.

Quelques jours après la reprise de la fabrication, on s'aperçut que les qualités du câble baissaient au lieu de s'améliorer. Il ne fut pas difficile de s'assurer que les soudures seules étaient mauvaises. Aussi, malgré son désir de n'employer pour la confection du câble que des agents français, M. Grammont dût-il se décider à avoir recours à un soudeur anglais.

Mais la recherche de ce praticien fit perdre un mois entier, et ce n'est que le 18 octobre 1892 que l'on commença véritablement à fabriquer le câble. Tout ce qui avait été fait jusqu'à cette date fut considéré comme ayant été employé à l'instruction du personnel et au réglage des machines, et destiné à servir ultérieurement comme amarres.

A partir de cette époque, la fabrication marcha avec toute la régularité désirable, et sans aucune interruption, à raison de 16 heures de travail effectif par jour.

Pour permettre aux ingénieurs de s'assurer à tout moment de la valeur de la fabrication en cours, les câbles aboutissaient à la salle d'expériences et étaient soumis à des essais incessants. A cet effet, le courant d'une pile de 20 éléments était toujours envoyé sur le câble, toutes les sections en construction ou fabriquées étant disposées en séries.

Les déviations du galvanomètre étaient constamment lues et inscrites sur un registre, et le sens du courant changé tous les quarts d'heure.

Toutes ces minutieuses précautions avaient été jugées rigoureusement indispensables ; en fait, elles ont été superflues, puisqu'aucun défaut n'a été relevé pendant le câblage.

Le 22 novembre, la moitié du câble était fabriqué et reçu ; le 31 décembre, tout le câble était achevé.

Pendant ce travail ininterrompu, il ne survint qu'un seul accident ; pendant le délovage de l'âme recouverte de jute, un des enfants occupés à la surveillance de ce travail laissa le câble s'engager ; il ne put le dégager à temps, et l'âme fut coupée en ce point.

La fabrication terminée, il restait à procéder à la pose du câble. Le temps ayant manqué pour effectuer à la fois la construction d'un navire télégraphique et celle d'une usine de câbles sous-marins, M. Grammont fut obligé de noliser un bâtiment spécial. Le seul navire disponible à cette époque, et d'un tonnage suffisant pour faire l'opération en une fois fut la *Calabria*, appartenant à la *Telegraph cable and maintenance Company*.

C'est un superbe navire de 2.039 tonneaux, fort bien aménagé pour ces sortes de travaux. Il fut convenu qu'il serait muni de tous les appareils nécessaires à la pose, et, le cas échéant, à la réparation ou au relèvement d'un câble ; qu'il serait pourvu de l'équipage indispensable à la conduite du navire ; mais que le personnel destiné à la pose ou à la manipulation du câble serait fourni par M. Grammont.

Toutefois, vu l'impossibilité où cet industriel s'était trouvé de recruter en France un personnel lisant au miroir d'une façon convenable, et en raison du peu de temps dont on disposait pour en former, il fut égale-

ment entendu que quatre électriciens lui seraient fournis par la Compagnie anglaise. Deux d'entre eux resteraient à terre; les deux autres suivraient l'expédition à bord du bâtiment.

Dans l'intervalle de temps qui s'écoula du 1er au 10 janvier 1893, date de l'arrivée de la *Calabria* à Saint-Tropez, les derniers préparatifs de l'embarquement du câble avaient été faits.

A la suite de sondages, il avait été reconnu que le navire pourrait s'approcher sans danger à 180 mètres de l'usine.

D'un autre côté, en vue de gagner du temps, il fut jugé nécessaire de procéder à l'embarquement par plusieurs cuves à la fois. A cet effet, il avait été construit un certain nombre de radeaux supportant de grandes roues sur lesquelles passait le câble. Ces radeaux étaient placés à environ 40 mètres l'un de l'autre, entre le navire et l'extrémité de l'appontement qui était lui-même muni de dispositions analogues. De cette manière, le câble ne frottait jamais sur le fond de la mer.

La nuit, chacun de ces radeaux était éclairé par un lustre de lampes électriques alimentées par la dynamo de l'usine.

A l'usine, le câble passait sur des tambours en bois qui lui servaient de guides et, au préalable, au sortir des cuves, sur une roue en fonte avec frein convenablement disposé pour empêcher le délovage trop rapide au départ.

Pendant l'embarquement, le câble était isolé à terre, et relié à bord à une pile de cinquante éléments, à travers un galvanomètre marin, les déviations étaient observées constamment et notées les deuxième, dixième et quinzième minutes.

Commencé le 11 janvier, l'embarquement se poursuivit sans interruption le jour et la nuit, et ne donna lieu à aucun incident jusqu'au 20. Ce jour-là, le galvanomètre indiqua brusquement une perte; l'embarquement fut suspendu et la faute recherchée électriquement.

Pour n'avoir qu'une seule section en essai, toutes les longueurs de câble, dans les différentes cuves, avaient été réunies entre elles par des soudures. Les soudures qui ne devaient pas entrer ultérieurement dans la composition du câble, n'avaient pas été recouvertes de l'armature de fils de fer, mais simplement mises à l'abri dans le faux pont. L'une de ces soudures avait reçu un coup de couteau qui avait pénétré jusqu'au cuivre. La faute fut décelée ce jour-là par suite du nettoyage en grand du faux pont que l'on inonda d'eau.

Le 23 janvier, les électriciens signalèrent quelques oscillations au galvanomètre. Une fausse manœuvre fit croire que ces constatations étaient sans importance. L'ordre avait, en effet, été donné de remplir les cuves d'eau. Croyant cet ordre exécuté, on procéda à des essais électriques très complets qui n'indiquèrent rien d'anormal, les oscillations ayant entièrement disparu. L'embarquement continua donc; malheureusement, on ne s'aperçut que quelques heures plus tard qu'il existait réellement un défaut qui ne s'était pas decelé immédiatement par suite du manque d'eau dans la cuve.

Bien que la rade où la *Calabria* était mouillée fût absolument sûre, ce navire avait été placé dans la direction du mistral et embossé au rivage au moyen de bouts de câble intermédiaire, mauvais au point de

vue électrique à cause des soudures, mais extrêmement résistants au point de vue mécanique. Un coup de vent d'ouest survenu inopinément vint prendre le navire par le travers. La violence en fut si grande que les amarres furent instantanément brisées; le navire fut abandonné à lui-même, sans aucun danger d'ailleurs à cause de ses ancres, mais l'embarquement dut être suspendu. On profita de cet arrêt pour remplir toutes les cuves d'eau et procéder à un essai général du câble. Il présentait une perte totale à la terre. Elle fut bientôt localisée et trouvée à 30 mètres près sur une section de circuit de 600 kilomètres. Cette faute se trouvait dans l'intérieur du télescope ou échafaudage mobile en bois qui constitue le centre de chaque cuve, et que l'on peut abaisser ou relever à volonté selon la quantité de câble lové dans la cuve. C'est d'ailleurs le seul endroit de la cuve où l'on puisse pénétrer lorsque celle-ci n'est pas remplie d'eau, et d'où l'on puisse atteindre les parties du câble lovées antérieurement.

L'âme portait un trou laissant le cuivre à nu, et offrant toutes les apparences d'un coup de poinçon. L'opinion générale des personnes présentes au moment de ces opérations fut que l'on avait été, une seconde fois, victime de la malveillance. L'embarquement s'acheva ensuite sans difficultés.

A Marseille, la *Calabria* dut faire escale pour prendre le charbon nécessaire à sa traversée.

Enfin, le 29 janvier au matin, la *Calabria* alla se placer en vue du Roucas blanc dans une position convenable pour la pose du câble d'atterrissement.

Le procédé que l'on désirait adopter pour effectuer cette opération était celui dit *par barils*. A cet effet, des cordes furent menées à terre, une boucle passée dans

une poulie de retour et les extrémités de la corde furent, l'une attachée au câble, l'autre capelée sur la machine de relèvement.

L'opération marcha d'abord sans difficulté; mais, après qu'un certain nombre de barils eussent été jetés à la mer, on remarqua qu'il était impossible de faire mouvoir la corde ni dans un sens, ni dans l'autre. Après des recherches fort longues, on s'aperçut que la corde était engagée au fond de l'eau. Les pêcheurs indiquèrent qu'en effet, il y avait en cet endroit la carcasse d'un vieux navire naufragé sur lequel plusieurs d'entre eux avaient déjà perdu leurs filets.

Vers le soir, la pose de l'atterrissement fut achevée; mais il était trop tard pour poursuivre les opérations, attendu qu'au départ de Marseille, il fallait se diriger à l'aide d'alignements qui n'étaient visibles que dans le jour.

Le 30 au matin, un brouillard intense avait envahi la rade. Enfin, vers dix heures, le soleil parut; la *Calabria* appareilla et la pose commença aussitôt.

Elle marcha d'abord avec une grande régularité, l'atterrissement et l'intermédiaire presque en entier furent posés sans incident.

Il n'en fut pas de même par la suite, et en voici le motif.

Le temps avait fait absolument défaut pour essayer la machine de pose avant de s'en servir. Il avait fallu, en effet, mettre à profit la période de beau temps si rare en cette saison et qui succédait à des tempêtes d'une grande violence. Pendant l'embarquement, on avait bien accoutumé les hommes à sa manœuvre, mais soit ignorance de leur part, soit tout autre motif, ils ne réussirent pas à se

servir utilement des freins; tantôt ceux-ci semblaient vouloir caler la machine; tantôt, au contraire, ils ne servaient pas suffisamment de régulateurs. Enfin, à un arrêt nécessité par un changement de cuves, la machine de pose se brisa. Heureusement la mer était calme, le câble fut fortement bossé à l'arrière et le navire resta immobile pendant la réparation.

Après que l'on eût remis la machine en état de bon fonctionnement, la pose put être reprise et continuée régulièrement.

Les journées du 31 janvier et du 1er février se passèrent ainsi sans incidents, la pose se faisant dans des conditions excessivement favorables.

Le 2 février au matin, une forte houle d'ouest se leva, tendant à faire dériver le navire; toutefois, le passage difficile des abords de San-Piétro de Sardaigne fut franchi sans accidents.

Dans le canal qui sépare la Sardaigne de la Tunisie, la mer devint de plus eu plus forte, et il fut manifeste qu'il serait impossible de maintenir le navire immobile pendant le temps nécessaire à la confection de l'épissure du câble de grands fonds et du câble intermédiaire.

Cette épissure n'avait pas été faite au préalable, parce qu'on ne pouvait prévoir la quantité exacte de câble de grands fonds qui serait posée pour arriver jusqu'au point où le modèle intermédiaire avait été jugé nécessaire. Lors donc que la *Calabria* eut atteint cette position, on fut forcé d'abandonner le câble de grands fonds et d'amarrer son extrémité au filin d'une bouée de marque. La pose de cette bouée s'effectua au milieu des plus grosses difficultés, par suite de l'état de la mer.

A dix heures du soir, le navire fit route sur la Gou-

lette, faute de pouvoir chercher un refuge à Bizerte à cause de la direction des vents régnants qui rendaient cette rade peu sûre.

Les 3 et 4 février, l'état de la mer obligea de suspendre les opérations. Dans la nuit du 4 au 5, la *Calabria* appareilla et se rendit à Bizerte, où elle arriva à la première heure, mais on reconnut bientôt qu'il était impossible d'entreprendre quoi que ce soit; la tempête devint même si violente que, dans l'après-midi, il fut jugé nécessaire d'aller chercher un refuge derrière le cap Farina.

Dans la nuit du 6 au 7, le navire tenta de se rendre à Bizerte ; mais, arrivé à la hauteur de l'île Plane, il fut obligé de revenir à son mouillage.

Enfin le 8, profitant d'une éclaircie, on s'empressa de poser à Bizerte le câble d'atterrissement de la section Bizerte-Marseille. Ce travail fut effectué assez rapidement par une méthode analogue à celle que l'on avait employée à Marseille, et l'extrémité de ce câble fut placée sur une bouée.

Pendant la nuit du 8 au 9, et une partie de cette journée, la *Calabria* fit route sur la bouée du large qui marquait l'extrémité du câble de grands fonds. On la retrouva sans difficulté; après que le câble de grands fonds eût été amené à bord, on procéda à la confection de l'épissure et la pose de l'intermédiaire fut commencée immédiatement après.

L'état du temps inspirait de sérieuses inquiétudes et faisait craindre même l'obligation de suspendre les opérations, lorsque vers les neuf heures du soir, quelques instants après la mise en marche, les essais continus signalèrent un défaut. Le navire fut arrêté immédiatement; la localisation de la faute indiqua qu'elle

venait très exactement d'être mise à l'eau, mais l'état de la mer ne permettait pas de songer à relever le câble, ni même de mouiller une bouée.

Dans ces conditions, on jugea plus prudent de passer outre à l'immersion, et lorsque le temps le permettrait, de revenir draguer le câble afin d'en éliminer le défaut.

La pose fut donc reprise, et malgré le temps de plus en plus mauvais, elle ne s'en effectua pas moins avec une parfaite régularité ; les fonds remontaient lentement de 400 mètres à 100 mètres et les hommes étaient bien exercés.

Enfin, à la pointe du jour, on aperçut la bouée indiquant l'extrémité du câble d'atterrissement. La violence des vagues ne permit pas de mettre un canot à la mer pour opérer le relèvement de ce câble, et d'ailleurs l'eût-elle permis qu'il aurait été impossible de faire l'épissure.

Après avoir pris les précautions nécessaires, on plaça le câble intermédiaire sur une deuxième bouée et la *Calabria* se rendit en rade de Bizerte pour attendre une accalmie; elle se produisit le 12 février.

On en profita pour relever les deux bouées qui marquaient les extrémités des câbles intermédiaire et d'atterrissement et, après les avoir amenées à bord, de confectionner l'épissure destinée à les réunir. Le navire retourna ensuite à Bizerte afin de procéder, dans la guérite d'atterrissement, à des essais en vue de déterminer aussi exactement que possible la position du défaut, et les comparer à ceux qui avaient été faits dans le même but par les électriciens laissés à Marseille.

Les expériences indiquèrent que la faute était bien exactement au point où les observations continues pendant la pose l'avaient révélée.

La *Calabria* se rendit immédiatement en ce point où elle arriva le 13 au matin, mais afin d'être bien sûr de l'endroit où l'on se trouvait, on attendit les observations astronomiques de midi. Favorisées par un temps splendide, elles indiquèrent que l'on était dans les parages présumés de la faute.

Le dragage fut commencé; quelques heures après, le câble fut amené à bord et coupé; l'une des sections, celle du côté de Marseille, ayant été reconnue en bon état, fut laissée sur une bouée et l'autre défectueuse fut relevée.

Après que l'on eût relevé ainsi deux milles environ, le câble fut coupé; la section restante fut de nouveau essayée et trouvée bonne. Il n'y avait plus qu'à remplacer les deux milles de câbles posés par du câble en bon état, ce qui fut fait sans difficultés.

Vérification faite à bord, la drague avait été jetée à 80 mètres de la faute.

Quant à la nature de la faute elle-même, la constatation suivante ne laissa pas que de présenter un certain intérêt : d'après la position même du défaut par rapport à l'épissure faite à la mer pour la jonction du câble de grands fonds avec le câble intermédiaire, ce défaut se trouvait dans la première couche supérieure du câble intermédiaire, lorsque celui-ci était lové dans la cuve.

Or, avant que l'on procédât à cette épissure, le câble intermédiaire, entièrement noyé sous l'eau, avait été essayé et ne présentait aucune faute. Cette eau ne fut retirée que quelques instants avant que l'on reprît la pose.

Le rapprochement de ces circonstances amena tous les Ingénieurs présents à penser que ce nouveau

défaut était, comme les deux premiers, imputable à la malveillance et que la lésion avait été faite immédiatement après qu'on eût vidé la cuve.

La surveillance fut redoublée, et aucun autre défaut ne se manifesta par la suite.

Le 15 février, au matin, les essais électriques effectués de Bizerte sur le câble Bizerte-Marseille donnèrent d'excellents résultats.

Bien que l'état de la mer ne fut pas très favorable, on entreprit immédiatement la pose du câble d'atterrissement de la section Bizerte vers Tunis.

Cette opération ne se fit pas sans difficulté.

Dès lors, il fut résolu qu'à la Goulette on abandonnerait la pose de l'atterrissement au moyen des barils et qu'on y procéderait avec l'aide d'un chaland et d'un remorqueur, si l'on pouvait s'en procurer. Des ordres furent donnés en vue de noliser le matériel nécessaire.

Dans la nuit du 15 au 16, la partie du câble Bizerte-Tunis, composée de l'atterrissement à Bizerte et de l'intermédiaire, fut posée et l'extrémité du câble de ce dernier modèle fut fixée à une bouée.

A l'arrivée de la *Calabria*, à midi, en rade de la Goulette, chaland et remorqueur étaient prêts. La pose du câble d'atterrissement fut donc commencée, dès que le navire fut mouillé à l'endroit voulu. Cette pose fut enlevée avec une extrême rapidité, et au milieu de la nuit la *Calabria* appareilla se dirigeant vers la bouée qui marquait l'extrémité de l'intermédiaire laissée la veille, de façon à y arriver pendant le jour.

Le 17 février, à midi, la dernière épissure fut jetée à la mer.

Tandis que l'on revenait à la guérite de la Goulette pour procéder aux essais définitifs, un soudeur faisait,

dans la guérite de Bizerte, le raccordement des deux sections de câble, les essais de réception devant être effectués sur la totalité du câble posé.

Ces essais eurent lieu sur le câble Marseille-Tunis le 18 février, exactement seize mois après que le premier coup de pioche eut été donné pour la construction de l'usine destinée à le fabriquer.

La nouvelle ligne sous-marine fut mise en service le 19 février, à deux heures de l'après-midi.

Pendant la pose, le câble était soumis à des essais constants; les expériences principales étaient faites à bord, les déviations lues à chaque instant, le courant étant renversé toutes les quinze minutes. Un signal de continuité était envoyé à la troisième minute de chaque reprise, et la déviation correspondante inscrite.

Toutes les quatre heures le câble était mis à la terre.

Enfin en cas de fautes, il avait été entendu que les expériences et communications suivantes devaient être faites :

DURÉE de chacune des expériences	MANŒUVRES OU EXPÉRIENCES A FAIRE	
	sur le bateau	à terre
10 minutes.	Résistance du cuivre. Résistance d'isolement. Câble isolé bout en l'air. Câble à la terre.	Câble à la terre. Câble isolé bout en l'air. Résistance d'isolement. Résistance du cuivre.

C'est à l'aide de ces séries d'expériences qu'après avoir découvert la faute le 9 février on la localisa aussi exactement du bord qu'ultérieurement de la guérite de Bizerte.

Le câble Marseille-Tunis est composé de deux sec-

tions distinctes : l'une de Marseille à Bizerte a 987^{km},023, soit sensiblement 532 milles. Elle contient 304 soudures y compris 10 épissures, savoir : 4 épissures de raccord des modèles atterrissement, intermédiaire et grands fonds, 3 épissures, parce que le câble de grands fonds a été fait par trois câbleuses distinctes, enfin une épissure pour éliminer la faute découverte le 23 janvier sur le câble de grands fonds, et deux autres pour enlever le défaut survenu dans le câble intermédiaire le 9 février.

Il ressort de là que la longueur moyenne des âmes employées est sensiblement de 1^{mille},81.

La seconde section de Bizerte à Tunis est de 103^{km},199, sensiblement 56 milles. Elle contient 34 soudures dont 2 épissures, ce qui fait que la longueur des âmes employées pour la fabrication de cette section est d'environ 1^{mille},75.

La fabrication et la pose du câble furent constamment surveillées par des Ingénieurs de l'État, sous la direction de M. l'Inspecteur général-adjoint Amiot.

Le cahier des charges du 26 juin 1891 ayant spécifié que les corrections relatives aux différences de température du diélectrique seraient effectuées à l'aide d'une table dressée pendant la fabrication même des âmes, ce travail fut confié par l'Administration à M. Jacquin, Contrôleur du service de la vérification du matériel.

Les nombres qu'il a obtenus sont reproduits dans le tableau ci-dessous. Ils résultent de mesures d'isolement de deux groupes d'âmes, — mesures effectuées deux mois après la fabrication — ; le premier groupe comportait une longueur de 5.600 mètres, et à l'époque des essais dont il s'agit, un isolement par mille de 1.641 Ω à 24° centigrades ; le deuxième groupe com-

portait une longueur de 5.527 mètres et un isolement de 1.234Ω à la même température.

Ces deux groupes étaient plongés dans la même cuve pleine d'eau, et leurs isolements étaient mesurés en même temps. Les variations de température de cette eau étaient données par des thermomètres plongeant dans les diverses parties de la cuve et contrôlées par les variations de résistance des conducteurs en cuivre de ces âmes précédemment étudiés à ce point de vue.

Table des résistances relatives des âmes du câble de Marseille à Tunis pour les températures comprises entre 5 et 32°, la résistance à 24° étant prise pour unité,

TEMPÉRATURE	1er GROUPE	2e GROUPE	MOYENNE	TEMPÉRATURE	1er GROUPE	2e GROUPE	MOYENNE
5	14,831	13,702	14,2665	19	2,162	2,178	2,170
6	12,408	11,6304	12,0192	20	1,834	1,881	1,8575
7	10,854	9,964	10,409	21	1,573	1,620	1,5965
8	9,588	8,7575	9,1727	22	1,356	1,383	1,3695
9	8,5745	7,8155	8,1950	23	1,1652	1,178	1,1716
10	7,664	7,0594	7,3617	24	1,000	1,000	1,000
11	6,7879	6,381	6,5854	25	0,8125	0,8475	0,845
12	5.9665	5,733	5,8497	26	0,721	0,729	0,725
13	5,176	5,120	5,148	27	0,6255	0,6285	0,627
14	4,467	4,518	4,4925	28	0,547	0,555	0,551
15	3,895	3,949	3,922	29	0,475	0,485	0,480
16	3,387	3,435	3,411	30	0,417	0,430	0,423
17	2,968	2,965	2,9665	31	0,373	0,377	0,375
18	2,560	2,527	2,5435	32	0,335	0,341	0,338

Le câble présentait par mille les caractéristiques suivantes :

1° A la réception de la moitié de la fabrication :

MODÈLE du câble	TEMPÉRATURE calculée par la résistance du cuivre	LONGUEUR	ISOLEMENT PAR MILLE MARIN ramené à 24 degrés	
			courant négatif	courant positif
Grands fonds.	15,89	97 milles	1.440	1.393
	15,71	90 —	1.469	1.429
	15,41	75 —	1.457	1.432
Intermédiaire.	16,11	87 —	1.710	1.661

2° A la réception de la totalité.

Longueur : 1.178^{km},816 ou 636 milles; température calculée 9°,35; isolement par mille marin ramené à 24° : par courant négatif 1.540, par courant positif 1.548 megohms.

3° Après la pose, la longueur totale des âmes entrant dans la composition du câble Marseille-Tunis soudé à Bizerte était de 1.090^{km},222, soit 588^{mille},5.

Il résultait des essais effectués à Pont-de-Chéruy, par le service de la vérification du Matériel, au fur et à mesure de la fabrication des âmes, que la résistance totale du cuivre du câble posé aurait dû être à 24° de 6.449^{ohms},37 et son isolement calculé de 1.211 megohms par mille à la même température.

Aux essais effectués immédiatement après la pose, le 18 février 1893, à la guérite de la Goulette :

La résistance du cuivre fut trouvée de 6.160^{ohms},6;

L'isolement sans correction de température ressortit à 8.543 megohms par mille avec le courant négatif et 8.199 megohms par mille avec le courant positif.

Aux essais de réception effectués six mois après la pose, le 18 août 1893, à la guérite du Roucas-Blanc, à Marseille :

La résistance du cuivre fut trouvée de 6.185 ohms;

L'isolement sans correction de température ressortit à 7.570 megohms par mille avec le courant négatif et 7.458 megohms par mille avec le courant positif.

Des essais effectués dernièrement à la guérite du Roucas-Blanc, à Marseille, ont montré que la résistance du cuivre à cette époque (février 1894) était de 6.193^{ohms},7 et que l'isolement sans correction de température était de 8.810 megohms par mille marin avec le courant négatif et 8.605 megohms par mille marin avec le courant positif.

Si l'on recherche la température de l'âme, à ces différentes époques, déduite de la résistance du cuivre, on trouve successivement :

12°,45, 13°,43, 13°,80.

La première température trouvée n'a rien d'anormal, si l'on tient compte de ce fait que la pose a eu lieu en hiver, à une époque où la température extérieure était inférieure à celle du fond de la mer et qu'au moment des essais, immédiatement après la pose, le cuivre n'avait pas encore pu arriver à se mettre en équilibre de température avec les eaux avoisinantes.

En ramenant à 24°, à l'aide de la table de correction dont il a été question ci-dessus, les isolements trouvés, au moment des essais relatés, on trouve successivement et par mille marin :

1° Par courant négatif :

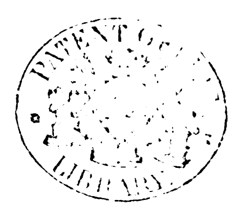
Immédiatement après la pose.	1.535 meghoms
Six mois après	1.548 —
Un an après	1.907 —

2° Par courant positif :

Immédiatement après la pose.	1.473 megohms
Six mois après	1.525 —
Un an après	1.862 —

La comparaison de ces divers chiffres entre eux prouve que l'isolement du câble n'a pas cessé un seul instant de s'élever graduellement.

H. Pelletier.



LES ANALOGIES HYDRAULIQUES

COMME MODE DE COMPRÉHENSION

DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES (*)

On a souvent utilisé les analogies existant entre certains phénomènes qui nous sont familiers et les phénomènes électriques pour rendre plus aisée la compréhension de ceux-ci; les phénomènes hydrauliques, en particulier, dont la ressemblance est telle que souvent les expressions en usage, aussi bien en hydrostatique qu'en hydrodynamique, se retrouvent sans modification en électricité, ont largement été mis à contribution : il est rare qu'un professeur pose les premiers jalons de son cours sans indiquer à ses élèves l'analogie existant entre la différence de potentiel électrique et la différence de niveau hydraulique; entre le courant électrique s'établissant entre deux points à des potentiels inégaux reliés par un conducteur, et le courant de liquide traversant un tuyau qui réunit deux récipients placés à des niveaux différents. L'usage qu'on a fait de ces analogies ne s'est pas borné, du reste, à ces cas très simples, et les savants les plus autorisés, lord Kelvin, Maxwell et d'autres, les ont utilisés pour expliquer divers phénomènes.

Les lecteurs de la *Lumière électrique* se rappellent encore l'expérience par laquelle M. Hess a représenté,

(*) Extrait de la *Lumière électrique*, t. LI, n°s 10 et 11.

au moyen d'une analogie de ce genre, les effets produits par l'hétérogénéité des diélectriques. Enfin, récemment, M. Cornu, en un véritable cours d'électricité statique et dynamique (*) a montré tout le parti qu'on pouvait tirer de ces analogies, mais il s'est limité à l'explication des phénomènes d'électrostatique et des règles qui régissent le passage du courant continu dans les conducteurs.

De semblables comparaisons se justifient en effet par des avantages considérables. Non seulement nous mettons ainsi en jeu des agents que nous sommes habitués à voir, à manipuler continuellement, et notre esprit trouve toutes naturelles et admet sans fatigue des déductions qui lui échapperaient dans un cas moins familier, mais encore, si nous voulons recourir à l'expérience, celle-ci est d'une réalisation très simple et nous fournit, *de visu*, le mécanisme du phénomène, bien mieux que ne saurait le faire l'expérience électrique elle-même.

Par exemple, rien de plus facile que de voir, de toucher un courant d'eau, de constater que ce courant croît en intensité avec la différence de niveau qui lui donne naissance et change de signe avec elle; au contraire nous ne voyons pas le courant électrique lui-même, ni à plus forte raison, le sens de ce courant; tout ce que nous pouvons faire, c'est d'en constater les effets : incandescence du filament d'une lampe, augmentation de cette incandescence avec la différence de potentiel, etc., et il est certain que l'esprit n'est pas, à beaucoup près, aussi satisfait.

(*) Notice sur la corrélation des phénomènes d'électricité statique et dynamique et la définition des unités électriques, par M. Cornu, *Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1893.

Mais si nous remarquons que cette incandescence correspond au dégagement de chaleur occasionné par le frottement d'un liquide dans un tuyau; que cette augmentation d'incandescence peut être rapprochée de l'augmentation de frottement résultant d'un courant plus rapide dans le tuyau, c'est-à-dire d'une différence de niveau plus grande; si alors, nous basant sur la corrélation de ces quelques effets, nous en déduisons la corrélation des causes, le courant électrique se matérialise à nos yeux et la compréhension de ses diverses propriétés devient infiniment plus claire. Ce n'est pas pour autre chose d'ailleurs que cette expression de *courant* s'est introduite dans le langage électrique, et à elle seule elle facilite déjà singulièrement la compréhension.

Sans doute, une telle déduction n'est pas rigoureuse : rien ne prouve, *a priori*, que les conclusions auxquelles on est amené par l'étude des manifestations d'un certain ordre soient applicables, telles quelles, aux manifestations identiques d'un ordre tout différent; et si, dans le cas précédent, l'assimilation que nous avons faite peut être conservée, c'est *uniquement* parce que l'expérience a prouvé tout d'abord que les manifestations produites par *ce que nous appelons* le courant électrique peuvent s'expliquer en assimilant celui-ci à un véritable écoulement. Il ne serait pas légitime de considérer dans un tel procédé une méthode d'investigation destinée à nous ouvrir des horizons nouveaux et à tenir pour fondées les conceptions nouvelles auxquelles nous serions amenés, à moins que les faits n'en apportent une vérification expérimentale; mais il est permis, et c'est à cela que nous nous bornerons ici, de voir dans cette méthode

un moyen simple d'enseigner, en les matérialisant, des conclusions obtenues souvent par des considérations d'un ordre beaucoup plus élevé.

Il importe toutefois de ne demander à de semblables comparaisons, que ce qu'elles peuvent donner, et de remarquer qu'en général, il y aura *analogie*, et non identité absolue entre les phénomènes que nous comparerons.

C'est sous le bénéfice de ces observations que nous passerons à l'examen des cas les plus intéressants.

I. COURANT CONTINU.

Un vase A (*fig.* 1) est placé à une certaine hauteur *h* au-dessus d'un autre B avec lequel il est relié par un tuyau; le vase B est supposé de surface assez grande pour que l'écoulement par le tuyau ne change pas sensiblement le niveau du liquide, de plus A est muni d'un approvisionnement extérieur qui lui permet de réparer ses pertes au fur et à mesure de l'écoulement et qui sera pour nous l'équivalent hydrodynamique d'une pile ou d'une source quelconque de force électromotrice.

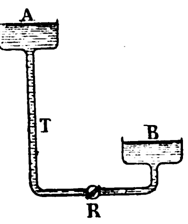


Fig. 1. — Courant continu. Notion de la résistance.

Pour une longueur et une section données du tuyau, la valeur du courant liquide dépend du frottement, c'est-à-dire, dans une certaine mesure, du degré de poli des parois : la *nature des parois* joue donc le même rôle, quoique moins nettement déterminé, que la *nature du conducteur* en électricité. Il est évident, d'autre part, que la *résistance* opposée au passage du liquide dans le tuyau sera d'autant plus grande que la *lon-*

gueur sera plus grande et la *section* plus petite, c'est-à-dire que ces deux éléments jouent ici le même rôle qu'en électricité. Lorsque l'écoulement de liquide a lieu, nous savons que la *puissance* disponible s'obtient en faisant le produit de la différence de niveau des deux vases par le poids de liquide s'écoulant dans l'unité de temps. La différence de niveau correspondant à la différence de potentiel, il en résulte que l'analogue de l'*intensité* sera pour nous le *poids* de liquide écoulé *par unité de temps*.

Self-induction. — Supposons que nous ouvrions brusquement, au moyen du robinet R, la communication entre A et B. Le liquide ne se mettra pas en mouvement brusquement : il présente une certaine inertie qu'il ne peut vaincre que petit à petit, comme si, dans ces premiers instants, la résistance du tuyau était considérablement augmentée ; réciproquement, lorsque le liquide sera en mouvement, nous ne pourrons l'arrêter brusquement sans une certaine réaction, le *coup de bélier*, lequel n'est autre chose que la restitution de la quantité d'énergie $\frac{1}{2}Mv^2$, absorbée pendant la mise en mouvement. Nous reconnaissons dans cette influence de l'inertie du liquide l'équivalent de la self-induction d'un circuit électrique avec tous ses effets : influence retardatrice dans les premiers instants de l'établissement du courant, influence qui se traduit par une augmentation *apparente* de la résistance dans ces premiers instants ; absorption d'énergie $\frac{1}{2}LI^2$ pendant cette période variable, laquelle est restituée dans l'étincelle d'extra-courant, correspondant au coup de bélier.

Les effets de l'inertie, dans la représentation hydrodynamique de la self-induction que nous venons d'indiquer seront évidemment d'autant plus nets qu'ils seront mieux dégagés des effets dus au frottement, c'est-à-dire de la résistance proprement dite, de sorte qu'il conviendra, pour les faire ressortir, d'employer des tubes de section assez forte, tandis qu'un tube de faible section, sera l'équivalent d'un conducteur dans lequel les effets dus à la résistance seront prédominants.

On peut tirer de la comparaison des conclusions intéressantes : une fois le régime d'écoulement du liquide établi, la quantité de mouvement mise en jeu ne varie pas, et l'écoulement est exactement le même que si l'inertie n'existait pas ; l'influence perturbatrice de celle-ci se limite donc bien à la période d'établissement et à la période d'arrêt : pendant le régime permanent, les résistances passives subsistent seules. Par analogie, nous conclurons que dans un circuit électrique les choses se passent de même, et en effet, en régime permanent, l'intensité sous différence de potentiel constante est *indépendante* de la self-induction.

Plaçons avant le robinet R un tube *t* ouvert à la partie supérieure (*fig.* 2). Fermons brusquement R ; toute l'énergie emmagasinée pendant la mise en mouvement du liquide contenu dans T étant obligée de se dépenser d'un seul coup, mais n'étant pas contrainte toutefois de se dépenser sous forme de réaction contre les parois de T, puisqu'elle trouve dans *t* un chemin plus facile, un jet de liquide jaillit de celui-ci à une notable hauteur au-dessus de

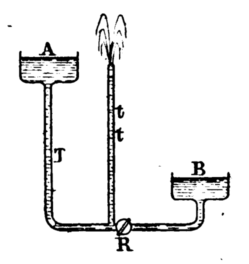


Fig. 2. — Self-induction et extra-courant.

A, d'autant plus haut, d'ailleurs, pour une masse en mouvement et une vitesse données, que la fermeture de R est plus brusque. De même, et pour la même raison, l'étincelle d'extracourant de rupture peut mettre en jeu des différences de potentiel beaucoup plus grandes que celle qui a déterminé le courant.

Enfin, si faibles que soient le diamètre du tuyau et sa longueur, la quantité de mouvement absorbée par la circulation du liquide dans ce tuyau n'est jamais nulle lorsque le régime est établi, ce que nous traduirions électriquement en disant qu'un conducteur doit toujours présenter une certaine self-induction ; on sait qu'en réalité il en est bien ainsi, même pour les conducteurs rectilignes, sauf quand certaines précautions spéciales sont prises dans le but d'annuler cette self-induction.

Capacité. — Passons maintenant à la notion de capacité. Quand on veut représenter une capacité, on l'assimile quelquefois à un vase B (*fig.* 3) rempli en partie d'un gaz dont la compression, sous l'influence d'une différence de niveau, par le liquide inférieur, joue le rôle de force contre-électromotrice ; ou encore à un vase complètement rempli de liquide, mais dont les parois sont élastiques, la tension de ces parois remplaçant alors la compression du gaz. Adoptons le premier mode de représentation et mettons le vase B en communication avec un autre A, placé à un niveau supérieur.

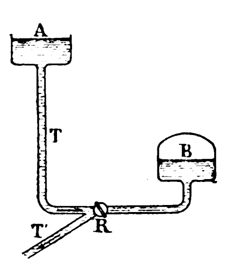


Fig. 3. — Capacité. Représentation primitive.

La différence de niveau entre les deux vases détermine la compression du gaz de B par suite de l'entrée

dans ce vase d'une certaine quantité de liquide : il y a dans T production d'un certain *courant de charge*, lequel est d'autant moindre, à chaque instant, qu'est plus faible la différence entre la pression exercée par A et la contre-pression dans B, et s'arrête lorsque ces deux pressions sont égales, de sorte que la résistance opposée au passage du liquide est d'abord très faible pour devenir infinie.

On peut encore remarquer que la quantité de liquide introduite dans B est d'autant plus grande que la différence entre les niveaux de A et de B est plus grande ; que dans cette charge de la capacité B, il y a *emmagasinement* de l'énergie, qui, lorsque, nous cesserons de faire agir la pression de A, pourra être restituée par la détente du gaz, en déterminant dans T′ un *courant de décharge*, de sens inverse à celui qui a produit la charge. Ce sont là *quelques-unes* des circonstances de la charge d'un condensateur électrique sous différence de potentiel constante : courant de charge d'abord intense, mais qui diminue rapidement, à mesure que croît la force contre-électromotrice du condensateur, de même que si la résistance du circuit, d'abord très faible augmentait rapidement pour atteindre l'infini lorsque le régime permanent est établi ; quantité d'électricité mise en jeu d'autant plus grande que la différence de potentiel est elle-même plus grande ; enfin, *emmagasinement* d'énergie qui peut être restituée pendant la *décharge* du condensateur, soit sous forme d'échauffement d'un conducteur, soit sous forme d'étincelle.

Par contre, d'autres circonstances ne sont pas d'accord avec les idées que l'on professe actuellement en électricité ni même simplement avec les faits, et

si nous avons signalé ce mode de représentation, c'est pour insister sur une idée fausse que l'on se fait très souvent de la charge des condensateurs et à laquelle il correspond précisément. Ainsi, si l'on admet ce mode de représentation de la capacité, il faut admettre, et c'est justement là l'erreur que l'on commet, que la charge du condensateur est constituée par un afflux de la source d'électricité au condensateur, par l'accumulation d'une certaine *quantité d'électricité* analogue à une accumulation de matière. En outre, si l'on voulait représenter dans cette hypothèse l'équivalent de plusieurs condensateurs en tension sur une différence de potentiel commune, ou encore un condensateur en dérivation sur un conducteur, cette représentation serait impossible ; dans ce dernier cas, par exemple, on arriverait à la disposition ci-dessus (*fig.* 4), c'est-à-dire que la différence de niveau, après avoir déterminé le gonflement du vase à parois extensibles C, continuerait à envoyer par le même chemin un flux permanent de liquide, ce qui ne correspond évidemment pas au cas d'un condensateur.

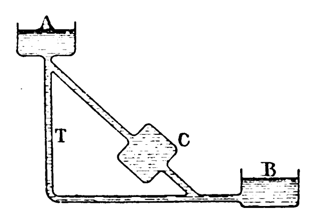


Fig. 4. — Condensateur en dérivation. Représentation primitive.

Fig. 5. — Capacité. Représentation rectifiée.

Pour ces différentes raisons, nous serons conduits à substituer à la représentation primitive de la capacité une nouvelle représentation qui rend beaucoup mieux compte des faits. Un vase C (*fig.* 5), ouvert à ses deux extrémités

et entièrement rempli de liquide, présente en son milieu un diaphragme élastique D, qui l'obture complètement. Si ce vase est mis en communication avec un autre plus élevé A, le diaphragme se déforme et refoule l'eau du compartiment d'arrière.

On voit que la charge est représentée dans cette disposition par un courant analogue à celui qui traverserait un conducteur ordinaire, et que nous ne l'assimilons plus à une accumulation de matière, puisque la quantité de liquide renfermée dans le vase B *est la même*, avant et après la charge, et qu'il y a eu simplement déplacement. Ce qui a varié, pendant la charge, c'est uniquement la *tension* de la membrane; c'est à augmenter cette tension que s'est dépensée l'énergie développée par le courant de liquide; réciproquement, pendant la décharge ce sera cette membrane qui, revenant à l'état initiale, restituera l'énergie emmagasinée. C'est donc elle qui, dans la charge, joue le rôle capital : il doit en être de même dans le condensateur, si notre comparaison est exacte, pour l'équivalent de la membrane, c'est-à-dire pour le *diélectrique :* nous savons qu'en effet peu importe dans un condensateur la nature des électrodes, tandis que la valeur de la capacité, à tous les points de vue, dépend de la nature du diélectrique; l'expérience classique de la bouteille de Leyde à armatures mobiles confirme d'ailleurs cette opinion en prouvant que la charge réside tout entière dans le diélectrique, et nous en avons encore une nouvelle preuve en remarquant que lorsque le condensateur est soumis à une différence de potentiel trop élevée, le diélectrique est percé, de même que la membrane élastique du vase B crève lorsque la différence de niveau devient trop grand.

Nous devons dès lors considérer que la charge du condensateur réside dans une accumulation d'*énergie* et non de quantité d'électricité ; que cette accumulation est obtenue par une *modification de l'état moléculaire du diélectrique* produit par le passage du courant de charge, lequel sert simplement de véhicule à l'énergie nécessaire pour opérer cette modification. La loi $W = \frac{1}{2} QE$ signifiera, d'après cela, que l'énergie emmagasinée dans un condensateur est égale au demi-produit de la force électromotrice de charge par la quantité *qui a été déplacée*, et non plus par la quantité *renfermée* dans le condensateur. Telle est, obtenue bien simplement, la représentation matérielle des idées que Maxwell a émises sur ce sujet.

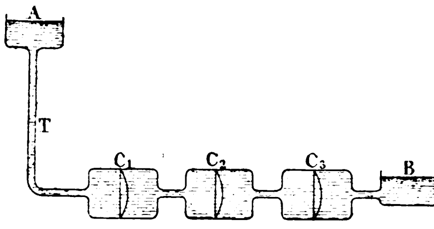


Fig. 6. — Condensateur en tension.

Rien ne sera plus facile maintenant que la représentation hydraulique de plusieurs condensateurs en tension (*fig.* 6) qu'une même force électromotrice charge simultanément, et dont les forces contre-électromotrices s'ajoutent pour équilibrer cette force électromotrice de charge ; d'un condensateur en dérivation sur un conducteur (*fig.* 7), etc.

Fig. 7. — Condensateur en dérivation.

Accumulateurs. — Avec quelques complications

provenant de la nécessité d'une force électromotrice minima pour déterminer un courant de charge, et de la continuation du passage du courant après la fin de la charge, nous pourrions représenter les accumulateurs électriques d'une manière identique aux condensateurs, car ils ne constituent en somme, quoique mettant en jeu des actions toutes différentes, que des condensateurs de capacité très considérable. Nous arriverions dans ce cas à cette conclusion que, de même que le condensateur, l'accumulateur ne représente pas un emmagasinement de *quantité* d'électricité, ainsi qu'on l'exprime lorsqu'on dit que tel accumulateur *renferme* tant d'ampères-heure mais un emmagasinement d'*énergie* dont le courant de charge a été le véhicule.

Seulement, au lieu que cet emmagasinement s'effectue sous la forme d'une modification moléculaire du diélectrique du condensateur, il a lieu sous la forme d'une dissociation des éléments chimiques constituant l'électrolyte, ce qui est encore un changement d'état moléculaire.

II. COURANT VARIABLE.

Oscillations électriques. — Essayons maintenant de représenter par une analogie hydrodynamique l'un des phénomènes électriques les plus curieux, celui des décharges oscillantes des condensateurs.

Nous avons sous-entendu tout à l'heure dans la charge de la capacité C effectuée sous l'influence d'une pression exercée par un vase A (*fig.* 5), que l'inertie du liquide circulant dans le tuyau T était négligeable, en supposant ce tuyau court et de faible section. Sup-

posons qu'il n'en soit pas ainsi, et pour cela prenons un tube de grande section (*fig.* 8), et établissons la communication entre A et C à l'aide du robinet R. Le liquide passe de A en C en tendant la membrane, et cela assez rapidement jusqu'à ce que la tension de C fasse équilibre à la différence de niveau entre A et C; mais à ce moment, le liquide du tuyau étant animé d'une vitesse assez grande de A vers C, ne peut s'arrêter brusquement. En vertu de son inertie et de la vitesse acquise, il continue à pénétrer dans C, dont il augmente par conséquent la tension d'une certaine quantité au-dessus de celle qui ferait équilibre à la pression de A. Lorsque ce mouvement s'arrête, toute l'énergie emmagasinée sous forme de quantité de mouvement étant absorbée par la tension de la membrane, celle-ci se détend, refoule le liquide vers A, se tend en sens inverse par suite de l'inertie du liquide, de sorte que le même phénomène se reproduit en sens contraire, et ainsi de suite : il y a donc production d'*oscillations* du liquide dans le tube, oscillations qui se continuent avec des amplitudes graduellement décroissantes, jusqu'à ce que les frottements dans T aient absorbé toute l'énergie mise en jeu, ce qui, théoriquement, ne doit se produire qu'après un nombre d'oscillations infini.

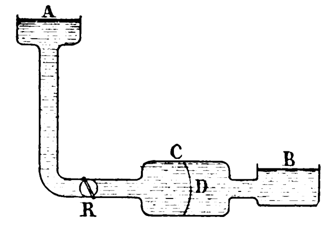


Fig. 8. — Oscillations.

Il y a lieu de faire remarquer que dans ces oscillations, c'est toujours la même quantité d'énergie qui entre en jeu, qui prolonge le mouvement du liquide de A vers C lorsque l'équilibre des pressions est dépassé et détermine la surcharge de C; qui est restituée par

la détente de la membrane dont elle détermine ensuite la tension en sens inverse, et ainsi de suite. Cette quantité d'énergie est empruntée à la source sous forme de quantité de mouvement : c'est la quantité de mouvement qui, lorsque nous avons ouvert R, était emmagasinée dans le liquide au moment où l'équilibre des pressions s'est produit.

Lorsque le vase C est chargé, si on le décharge en le mettant par un tuyau de grosse section, en communication avec un vase ouvert, les mêmes phénomènes se reproduiront exactement, et pour les mêmes raisons.

Telle est toute l'explication de ce phénomène des oscillations, qui, en électricité, par la combinaison des effets de la capacité et de la self-induction, produit des effets si curieux. La seule différence, c'est qu'au lieu de quelques oscillations par seconde, on peut en avoir des millions.

En outre, des dispositions spéciales sont nécessaires pour réaliser l'acte correspondant à l'ouverture du robinet. Si on ouvrait R assez lentement, on conçoit, en effet, que les oscillations ne se produiraient pas avec la même netteté. De même, dans un circuit électrique où les oscillations sont extrêmement rapides, elles ne se manifesteraient pas par le simple jeu d'un commutateur, et on a recours, pour les *exciter*, au phénomène de l'étincelle disruptive, qui équivaut à une manœuvre pour ainsi dire instantanée du robinet (*).

L'exemple précédent montre encore avec quelle

(*) Voir à ce sujet la notice consacrée par M. Poincarré à « La lumière et l'électricité d'après Maxwell et Hertz » dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes* pour 1894.

netteté les analogies hydrauliques peuvent faire saisir des phénomènes assez complexes : du reste, l'expérience elle-même est encore plus convaincante, et il suffit de l'exécuter, non seulement pour se rendre compte du phénomène et être absolument convaincu que les choses ne sauraient se passer autrement, mais encore pour voir quelle est l'influence des divers éléments.

Si par exemple le diaphragme est grand, sa contre-pression s'accroit lentement et les oscillations sont lentes, tout en présentant une grande amplitude. Il en est de même si la masse est considérable, car cette masse en mouvement dans une direction donnée peut s'arrêter rapidement ; au contraire, quand la résistance est considérable, elle intervient pour *dissiper* la quantité de mouvement en même temps que le diaphragme l'absorbe, ce qui a pour résultat de diminuer l'amplitude des oscillations, de les amortir rapidement et de les rendre plus rapides. Toutes ces conséquences s'appliqueraient identiquement dans le cas d'un circuit électrique.

G. CLAUDE.

(*La suite à la prochaine livraison.*)



LES UNITÉS ÉLECTRIQUES

AU CONGRÈS INTERNATIONAL DE CHICAGO

La Chambre des délégués du Congrès international d'électricité tenu à Chicago en août 1893 a proposé les résolutions suivantes :

Les divers gouvernements représentés au Congrès international des électriciens sont invités à adopter, à titre légal, les unités de mesure dont voici la nomenclature :

1. Comme *unité de résistance*, l'*ohm international*, égal à 10^9 unités de résistance dans le système C. G. S. des unités électro-magnétiques et représenté par la résistance offerte à un courant électrique constant par une colonne de mercure d'une masse de $14^{gr},4521$, de section transversale uniforme et de $1^{m},063$ de long à la température de la glace fondante.

2. Comme *unité de courant*, l'*ampère international*, qui est 1/10 de l'unité de courant du système C. G. S. des unités électro-magnétiques et qui est *suffisamment* bien représenté pour les usages de la pratique par le courant constant qui, traversant une solution aqueuse de nitrate d'argent, dans les conditions qui seront spécifiées, dépose l'argent au taux $0^{gr},001118$ par seconde.

3. Comme *unité de force électro-motrice*, le *volt international*, qui est la f. e. m. qui, appliquée sans

variation à un conducteur dont la résistance est l'ohm international, produit un courant d'un ampère international, et qui est *suffisamment* bien représenté pour les usages de la pratique par les 1000/1434 de la force électro-motrice entre les pôles ou électrodes de la pile voltaïque connue sous le nom d'élément de Clark à la température de 15°C. et préparée de la façon décrite dans la spécification jointe au rapport.

4. Comme *unité de quantité*, le *coulomb international*, qui est la quantité d'électricité transférée par un courant d'un ampère international en une seconde.

5. Comme *unité de capacité*, le *farad international* qui est la capacité d'un conducteur chargé au potentiel d'un volt international par un coulomb international d'électricité.

6. Comme *unité de travail*, le *joule*, qui vaut 10^7 unités de travail dans le système C. G. S. et qui est *suffisamment* bien représenté pour les usages de la pratique par l'énergie dépensée en une seconde par un ampère international dans un ohm international.

7. Comme *unité de puissance*, le *watt international*, égal à 10^7 unités de puissance dans le système C. G. S. et qui est *suffisamment* représenté pour les usages de la pratique par le travail fait au taux d'un joule par seconde.

8. Comme *unité d'induction*, le *henry*, qui l'induction dans le circuit quand la force électro-motrice induite dans ce circuit est un volt international, pendant que le courant inducteur varie au taux d'un ampère international par seconde.

Quant à l'étalon de lumière, le rapport du comité spécial dit que, en particulier, la discussion a porté sur les deux formes spéciales de lampes connues sous les

noms de lampes à acétate d'amyle de von Hefner-Alteneck, et de lampe au pentane de Vernon-Harcourt. La seule lampe pratique actuellement présentée au comité est la nouvelle lampe de von Hefner, qui, quoique ayant été laborieusement essayée au Reichsanstalt et déclarée exacte à 2 p. 100 près, n'a pas été l'objet d'une expérimentation étendue en dehors de l'Allemagne. D'autre part, on apprend que la lampe au pentane, dans sa forme récente, perfectionnée, est préférée en Angleterre pour la photométrie des lumières du gaz. On objecte à cette dernière lampe que la composition du pentane commercial n'est pas assez bien définie; et à la lampe à l'acétate d'amyle que la teinte en est trop rouge; enfin, on objecte à toutes les lampes à flamme nue, qu'elles sont trop facilement influencées par des changements dans la pression, la température et l'humidité de l'air. On reconnait, d'un autre côté, qu'aucune lampe électrique convenable n'a encore été combinée pour servir d'étalon pratique. Dans ces conditions, le comité se divisa en partisans de la lampe de von Hefner comme étalon indépendant et en partisans du maintien du *statu quo* jusqu'à plus amples recherches. MM. Budde et Lummer, représentants de l'Allemagne, proposaient de décider que la lampe Hefner-Alteneck, construite exactement selon les spécifications de son inventeur, serait introduite comme étalon pratique provisoire et que des recherches ultérieures auraient à en déterminer la valeur en fonction d'une unité absolue. Cette proposition fut rejetée par 4 voix contre 2. La motion suivante, proposée par MM. Palaz et Silvanus Thompson et amendée par MM. Budde et Lummer, fut admise à l'unanimité (les autres membres étaient MM. J. Violle et Edw.-L. Nichols) :

Le comité, tout en reconnaissant le grand progrès réalisé dans la lampe étalon de von Hefner-Alteneck et les importantes recherches faites au Reichsanstalt, constate que d'autres étalons ont été proposés et sont actuellement essayés et qu'il existe de sérieuses objections à toute espèce d'étalon à flamme nue ; il est, par conséquent, incapable de recommander l'adoption, à l'époque actuelle soit de la lampe Hefner, soit de celle de pentane, mais il recommande d'inviter toutes les nations à faire des recherches en commun sur des étalons pratiques bien définis et sur la réalisation d'une unité absolue.

LA KRUPPINE

Dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, M. Dettmar étudie un nouveau métal (dont il ne donne d'ailleurs pas la composition) spécialement destiné aux résistances industrielles. Ce métal, fabriqué par Krupp à Essen et nommé Kruppine en son honneur, se distinguerait non seulement par une résistance électrique considérable, mais encore par des qualités mécaniques qui permettraient de le travailler très facilement. Sa résistance, quand il est bien recuit, est de 83 microhms-centimètres, c'est-à-dire cinquante fois plus grande que celle du cuivre; son coefficient de température est égal à 0,0013; il est donc trois fois plus petit que celui du cuivre.

M. Dettmar, après avoir mesuré ces deux constantes, a recherché, et c'est là la partie la plus intéressante de son travail, combien de spires doivent être enroulées sur un boudin d'un mètre pour dépenser un nombre maximum de watts sans produire un échauffement dangereux. Ce n'est pas, comme on serait tenté de le croire, le plus grand nombre possible de spires qui donne le meilleur résultat. Pour des boudins dont le diamètre est de 13 et 18 millimètres et pour des fils de 1 millimètre et de $2^{mm},3$, l'auteur trouve que le meilleur enroulement est celui qui laisse entre deux spires consécutives un intervalle égal à deux fois le diamètre du fil.

Il a constaté, en outre, que deux boudins de diamètres différents (13 et 18 millimètres) supportent à peu près le même courant quand tous deux sont enroulés de façon à donner l'effet maximum.

M. Dettmar a déterminé pour cet enroulement le nombre d'ampères que peuvent supporter une série de fils de kruppine de diamètres différents. Voici le tableau qui résume ces résultats :

DIAMÈTRE du fil	RÉSISTANCE en ohms par mètre	LONGUEUR en mètres par ohm	AMPÈRES que peuvent supporter les fils	
			indéfiniment	pendant 1 minute
0,5	4,23	0,2365	1,0	2,0
0,6	2,93	0,3420	1,5	2,7
0,8	1,657	0,6040	2,0	4,5
1,0	1,058	0,9470	3,0	6,5
1,2	0,735	1,362	3,5	9,0
1,4	0,539	1,855	4,5	12,0
1,6	0,413	2,422	5,5	15,5
1,8	0,327	3,063	5,6	19,0
2,0	0,264	3,790	7,5	23,0
2,3	0,200	5,00	9,5	29,5
2,5	0,1690	5,92	10,5	34,0
2,8	0,1344	7,43	12,5	40,5
3,0	0,1175	8,52	14,0	45,0
3,5	0,0862	11,60	17,5	60,0
4,0	0,0661	15,13	21,5	75,0

M. Dettmar admet qu'un fil supporte indéfiniment un courant donné quand, ayant atteint sa température définitive, il ne produit pas un sifflement caractéristique au contact d'un doigt humide.

Le courant indiqué dans la colonne 5 porte le fil au rouge sombre en le traversant pendant une minute.

(*Bulletin international de l'Électricité*, n° 10.)



BIBLIOGRAPHIE

Traité de Télégraphie électrique, par M. H. Thomas, ingénieur des Télégraphes. (Baudry et Cie.)

Le *Traité de Télégraphie électrique* de M. Thômas, que vient de publier la librairie polytechnique Baudry et Cie, est de nature à rendre de grands services au personnel de l'Administration des postes et télégraphes. Il comble une lacune qu'ont eu bien souvent à regretter tous ceux qui ont voulu se livrer à des études sur la télégraphie. Depuis le traité si remarquable que Blavier a publié en 1867 et qui a servi à l'instruction des générations précédentes, il n'avait pas, en effet, paru en France d'ouvrage complet sur la matière. Aussi est-ce faire œuvre utile, après les perfectionnements de toute nature qui se sont produits depuis vingt-cinq ans, après les inventions remarquables qui ont transformé l'exploitation, de rassembler de nouveau tous les renseignements et tous les documents de nature à faire connaître la télégraphie électrique dans son état actuel et d'offrir au télégraphiste un ouvrage où il trouvera la description de tous les appareils qui peuvent offrir un intérêt pour lui, en même temps que les principes essentiels de la construction des lignes, les propriétés électriques des conducteurs et la nature des phénomènes qui, en raison même de leur constitution, interviennent dans les transmissions électriques.

Pour le plan de son ouvrage, l'auteur a suivi dans ses grandes lignes le plan du traité de Blavier. Il n'a pas cru cependant devoir maintenir un chapitre pour la théorie générale de l'électricité, ce qui ne présentait plus d'intérêt aujourd'hui où l'on possède un grand nombre de traités didactiques sur la matière.

Après une courte introduction où se trouve posé nettement le problème de la télégraphie électrique, l'auteur aborde successivement l'étude complète des différents éléments qui entrent en jeu dans les transmissions télégraphiques.

Le chapitre I[er] traite de la production du courant électrique. On y trouve la théorie de la pile et la description des principaux types de pile employés dans les différents offices. Le montage de la pile en échelle d'Amsterdam, qui a donné de grandes facilités d'exploitation dans les bureaux importants y fait l'objet d'une mention spéciale. Le chapitre se termine par une étude sur la substitution des machines dynamo-électriques et des accumulateurs aux piles des grands bureaux.

Le chapitre II montre quels sont les organes que l'on peut employer pour la réception des signaux. Après les généralités sur les électro-aimants utiles à connaître, l'auteur donne le principe des électro-aimants polarisés les plus fréquemment employés Hughes, Meyer, Wheatstone, Baudot, d'Arlincourt, Siemens. Il donne également le principe de la réception électrochimique qui a été employée dans un certain nombre d'appareils.

Les procédés de production et de réception du courant étant ainsi bien exposés, l'auteur peut passer à la description des appareils. Le chapitre III est un historique rapide passant en revue les premiers appareils

employés après l'invention de la télégraphie, il se termine par la description des appareils à cadran encore employés dans certains cas particuliers. Le chapitre IV traite de l'appareil Morse, que tout télégraphiste doit connaître en détail. Tout en donnant la description de l'appareil tel qu'il est employé en France, l'auteur a cru devoir faire connaître quelques modifications ingénieuses qui ont été proposées pour certains organes, pour les systèmes d'encrage et de réglage de l'armature notamment.

Le chapitre V passe en revue les différents appareils accessoires nécessaires pour les commodités de l'exploitation, sonneries, commutateurs, galvanomètres, paratonnerres.

Le chapitre VI est consacré aux différents modes d'installation des postes, installation d'un poste simple, embrochage, translation, transmission par courant continu, installation des postes en dérivation, installation des bureaux municipaux, etc. L'installation d'appareils destinés à desservir un certain nombre de postes avec la solution ingénieuse qui en a été donnée par le commutateur Mandroux y a trouvé sa place. Le problème des rappels permettant de grouper plusieurs postes sur un même fil de ligne y a été traité avec quelques détails.

Avant d'aborder la description des appareils plus rapides que l'appareil Morse, l'auteur a cru indispensable de bien faire connaître les propriétés électriques des lignes télégraphiques ainsi que les lois de la propagation du courant électrique. Le chapitre VII analyse en conséquence les diverses difficultés qui peuvent gêner les transmissions provenant soit de la nature et des propriétés mêmes des conducteurs telles que la

résistance, la capacité, l'induction, soit de dérangements inhérents au mode de construction des lignes et auxquels il est impossible de les soustraire d'une manière absolue, tels que mélanges des fils entre eux, dérivations, pertes à la terre, etc., soit enfin des phénomènes météorologiques, orages, aurores boréales, etc. Le chapitre VIII fait connaître les lois de la propagation du courant et montre les conséquences que l'on peut en tirer pour augmenter la vitesse de transmission des signaux.

Toutes les conditions électriques d'une ligne en vue d'une bonne exploitation, ont d'ailleurs besoin d'être connues avec précision. Aussi un traité de télégraphie électrique ne saurait-il être complet s'il ne contenait une description détaillée des appareils et des méthodes de mesure électrique les plus couramment usitées. Tel est l'objet du chapitre IX, tandis que le chapitre X, après avoir montré la méthode à employer pour faire la vérification d'un poste en cas de dérangement indique comment, au moyen des mesures électriques, on peut déterminer la position d'un défaut sur les lignes aériennes, souterraines ou sous-marines.

Dans le chapitre XI sont indiqués les différents procédés employés pour combattre les causes variées qui peuvent gêner la propagation du courant électrique et, par suite, pour augmenter la vitesse de transmission sur les lignes. Les principaux appareils translateurs, les différents système de décharges qui ont été expérimentés y sont indiqués avec quelques détails. L'utilité de l'emploi du courant de repos y est nettement indiquée, ainsi que l'usage des courants de compensation. Le chapitre se termine par la description des bobines de self-induction de M. Godfroy, qui ont amélioré, dans

une large mesure, l'exploitation des lignes souterraines et des grandes lignes aériennes en France, et par celle du dispositif du condensateur shunté, grâce auquel M. Preece a pu donner à l'appareil Wheatstone sur les lignes anglaises, un rendement tout à fait remarquable.

Les chapitres suivants sont consacrés à la description des principaux appareils et des différents systèmes de transmission.

Chapitre XII. *Appareils utilisant les deux sens du courant.* — On y trouve la description rapide des appareils dans lesquels on a cherché à employer ce procédé pour augmenter le rendement des lignes : appareils Herring, Estienne, Hérodote, Farjou. Puis, le chapitre se termine par la description des appareils employés pour l'exploitation des lignes sous-marines et notamment du Siphon Recorder avec ses modifications les plus récentes.

Chapitre XIII. *Appareils imprimeurs.* — Après avoir passé rapidement sur les appareils à échappement, complètement abandonnés aujourd'hui, l'auteur s'étend sur les appareils à mouvement synchronique et notamment sur l'appareil Hughes qui est en France considéré comme le plus parfait d'entre eux. Tous les organes de cet appareil y sont décrits en détail. Les différents systèmes de remontage automatique du poids, qui ont été expérimentés depuis quelques années et dont quelques-uns employés en France d'une façon courante ont rendu de grands services à l'exploitation, y sont passés en revue.

Chapitre XIV. *Appareils autographiques.* — Ce chapitre donne la description des appareils Caselli et Meyer, qui ont été mis autrefois en exploitation en France et

qui fournissent des solutions si remarquables de la reproduction de l'écriture à distance ; on y trouve également une indication succincte des typotélégraphes, appareils oubliés aujourd'hui, mais avec lesquels on espérait trouver, il y a trente ans, la solution de la télégraphie rapide. La fin du chapitre est consacrée aux télautographes, qui permettent de reproduire l'écriture à distance, par des procédés tout à fait différents de ceux de Caselli et de Meyer, et dont l'appareil d'Élisha Gray présente le type le plus ingénieux.

Chapitre XV. *Appareils automatiques.* — L'appareil Wheatstone, qui jouit d'une faveur si marquée en Angleterre, y est décrit en détails avec les derniers perfectionnements qu'il a reçus sous la direction de M. Preece et auxquels il doit son rendement extraordinaire. L'application de la transmission automatique aux transmissions sous-marines y trouve également sa place. Nous recommandons aux lecteurs la description du système Belz et Brahic, appliqué aux câbles français de la Méditerranée et du perforateur Terrin qui a permis de tirer de ce système tous les résultats qu'il pouvait donner. Le chapitre est complété par quelques pages sur les recherches entreprises, dans le but d'appliquer ce système de transmission aux appareils à impression typographique ; on y trouve une description rapide de l'appareil Parment qui avait fourni une solution ingénieuse de ce difficile problème.

Chapitre XVI. *Systèmes de transmission duplex, diplex, quadruplex, multiplex.* — Les méthodes classiques usitées pour réaliser ces différents systèmes de transmission y sont passées en revue. On y trouvera développée avec détails, l'application des procédés de transmission duplex aux lignes exploitées avec le

double courant et, notamment, les applications qui peuvent en être faites à l'appareil Hughes et à l'appareil Wheatstone. La description des installations en duplex du translateur rapide sur les lignes desservies par l'appareil Wheatstone trouve ici naturellement sa place. L'installation qui en a été faite au Poste Central de Paris s'y trouve très exactement reproduite. Les expériences permettant de réaliser des transmissions multiplex à l'aide de courants ondulatoires de périodes différentes, ont été passées en revue depuis l'expérience fondamentale de l'abbé Laborde, en 1860. Les travaux entrepris dans cette voie par Paul Lacour, Élisha Gray, Langdon Davies, Mercadier, ont été consciencieusement analysés.

Chapitre XVII. *Appareils multiples.* — Les appareils décrits dans ce chapitre sont ceux qui permettent de réaliser la télégraphie multiple en s'appuyant sur le principe de la division du temps. Après le Meyer, qui réalisait la transmission multiple avec les signaux de l'appareil Morse, et qui fut le premier appareil multiple fonctionnant en exploitation régulière, après le système Delany qui peut s'appliquer à un appareil quelconque et qui est très usité en Angleterre, le chapitre comporte une description très détaillée de l'appareil Baudot, qui fournit la solution la plus parfaite de la transmission multiple appliquée à l'impression typographique et qui est aujourd'hui, en France, l'appareil universellement adopté sur les lignes à grand trafic. Les organes de ce bel appareil y sont décrits en détail, ainsi que les différentes installations qui montrent avec quelle souplesse il peut se prêter aux besoins divers de l'exploitation, installations doubles, installations doubles échelonnées, installations qua-

druples à vingt relais, installations quadruples à trois relais. Le chapitre se termine par quelques pages sur les recherches faites en vue de transformer l'appareil Hughes en appareil multiple et qui ont conduit à la réalisation d'appareils intéressants comme celui de M. Munier.

Le chapitre XVIII montre le secours que le téléphone a pu prêter à la télégraphie pour le développement du réseau municipal. Les appareils téléphoniques et télégraphiques les plus fréquemment usités en France s'y trouvent décrits, ainsi que les types classiques d'installation d'un poste téléphonique. Les procédés d'utilisation des fils pour la télégraphie et la téléphonie simultanées complètent ce chapitre.

Les chapitres suivants (XIX et XX) traitent de l'établissement des lignes aériennes et souterraines. Le lecteur y trouvera de précieux renseignements sur le matériel employé et sur les procédés de construction.

Enfin le chapitre XXI donne des renseignements généraux sur la constitution d'un câble sous-marin et sur les opérations d'immersion. Pour un certain nombre de questions qui auraient demandé des développements considérables disproportionnés avec le plan de l'ouvrage, l'auteur renvoie au remarquable traité que M. Winschoerdeff a publié en 1888, sur ce sujet.

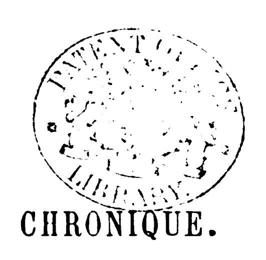
Telles sont les différentes matières qui sont traitées dans cet ouvrage très complet.

Toutes les questions, ainsi que l'auteur le dit dans sa préface, y sont en général, traitées de manière à être accessible à tous ; on y trouve, il est vrai, quelques théories demandant des développements mathématiques, comme par exemple, les études de Sir William Thomson et de M. Vaschy sur la fonction qui repré-

sente l'intensité du courant aux différents points d'une ligne télégraphique, ou encore, comme la théorie du tirage des câbles de M. Vaschy. Mais, ces développements ont été, pour être distingués facilement de l'ensemble de l'ouvrage, imprimés en caractères plus petits. Le reste de l'ouvrage est rédigé de manière à former un tout complet, abstraction faite de ces pages qui peuvent être passées sans inconvénient.

Les figures, au nombre de 702, ont été particulièrement soignées. Ce sont pour la plupart des figures schématiques qui, bien mieux que des vues d'ensemble, permettent au lecteur de suivre sans fatigue les différentes descriptions.

Ce livre qui sera certainement bien accueilli par tous les télégraphistes, grâce à la lacune qu'il vient combler, est également de nature à avoir sa place marquée dans la bibliothèque de tous les électriciens, grâce au nombre et à la variété des renseignements qu'il contient. Ajoutons, pour terminer, que la librairie polytechnique Baudry et Cie, l'a édité avec le soin qu'elle apporte à toutes ses publications.



CHRONIQUE.

L'utilisation des chutes du Niagara.

Par M. G. Forbes.

Le professeur anglais George Forbes a été chargé, il y a environ deux ans, par un groupe de financiers de New-York, de soumettre à la *Cataract Construction Company*, qu'ils ont fondée, un projet pour l'utilisation d'une partie de l'énergie des chutes du Niagara, évaluée à 16 millions de chevaux-vapeur.

Nous croyons intéressant de mettre sous les yeux du lecteur les résultats de l'étude que vient de terminer cet éminent professeur, ainsi que les critiques qu'elle a soulevées parmi les membres de l'*Institution of Electrical Engineers* de Londres.

Le problème consiste à transporter et à distribuer dans la contrée qui s'étend depuis les cataractes jusqu'à Buffalo 100.000 chevaux-vapeur.

C'est certainement une entreprise gigantesque qui laissera bien loin derrière elle les timides essais faits tant en France qu'à l'Étranger pendant ces dernières années.

Bien entendu, M. George Forbes s'est arrêté à l'emploi de courants alternatifs; l'idée d'employer les courants continus pour les transports de force à longue distance a, en effet, vécu.

De nombreuses expériences, que nous ne pourrons publier qu'ultérieurement, l'ont amené à déterminer la fréquence des périodes. Il considère, comme étant le plus avantageux, le nombre de 16,66 alternances par seconde.

Néanmoins, comme les alternateurs capables de remplir cette condition eussent été trop massifs, chacun d'eux devant être dans l'espèce actionné directement par une turbine de 5.000 chevaux, M. Forbes a dû élever un peu la fréquence; il s'est arrêté au chiffre de 25 alternances par seconde.



Comme on le voit, nous sommes loin des fréquences admises dans les machines actuellement connues, à savoir : 42 périodes pour les machines Ganz, 76 pour les machines Siemens et respectivement 100 et 133 pour les machines Brush et Westinghouse.

C'est donc cette basse fréquence admise par M. Forbes qui est le point caractéristique de son projet et qui a donné lieu à une discussion que nous relaterons ici et qui est loin d'être close, puisqu'elle n'a pas encore eu d'écho sur le continent, où elle est à peine connue.

M. Forbes justifie son choix de la manière suivante :

Avant tout, il est nécessaire que toutes les génératrices soient identiques de manière qu'elles puissent être substituées l'une à l'autre et qu'elles puissent marcher en parallèle, lorsque le maximum de l'énergie dont elles sont capables simultanément sera demandé à l'installation.

Il ne peut être, en effet, question d'avoir des générateurs spéciaux respectivement pour les moteurs, l'éclairage électrique, la galvanoplastie, ce qui augmenterait considérablement les frais de premier établissement et d'exploitation de l'usine centrale.

Or, il est démontré d'ores et déjà que le meilleur rendement dans la marche en parallèle est acquis aux alternateurs à basse fréquence.

En outre, il faut autant que possible envisager l'utilisation du courant direct pour l'alimentation des dynamos à courant continu convenablement appropriées pour servir de moteurs à la petite industrie disséminée dans la région traversée par les conducteurs principaux.

De semblables moteurs de petite taille donnent d'excellents résultats quand la fréquence du courant primaire n'est pas supérieure à 25 périodes.

Il est vrai que, pour les grands moteurs de ce type, la fréquence du courant générateur ne doit pas dépasser 8 périodes par seconde.

Mais il va sans dire que, dès que l'usine a une importance suffisante pour nécessiter l'emploi des moteurs puissants, l'usage des moteurs du genre Tesla se trouve tout indiqué.

Or précisément, dans ce genre de moteurs, le rendement

croît avec l'abaissement de la fréquence du courant générateur.

Les avantages de la basse fréquence ne résident pas seulement dans le rendement des moteurs, mais encore et surtout dans l'établissement des conducteurs.

En effet, les courants alternatifs à très grande fréquence tendent à se confiner dans le milieu qui entoure les conducteurs, ce qui augmente la résistance de ceux-ci; et le courant a grande tendance à se répandre dans l'air, ce qui rend difficile l'isolement du conducteur, tandis qu'avec les courants à basse fréquence ces inconvénients sont beaucoup moindres et l'isolement des conducteurs est beaucoup plus facile à réaliser.

M. Forbes, après avoir invoqué les avantages du système qu'il préconise, répond par avance aux objections qu'il paraît devoir soulever, à savoir principalement : que les courants à basse fréquence ne peuvent être utilisés directement pour l'éclairage des villes et des usines.

En effet, une lampe de 16 bougies ne donne qu'une faible lueur au-dessous de 25 périodes et on ne peut obtenir de lumière qu'au-dessus de 28 périodes.

Avec une lampe à arc du type Siemens, consommant 14 ampères sous une différence de potentiel de 26 volts, on ne peut guère obtenir de lumière efficace que lorsque la fréquence du courant est supérieure à 50 périodes. Dans ces conditions, le système en question conduirait à l'emploi de transformateurs d'autant plus grands, par conséquent plus coûteux, que la fréquence est moindre.

M. Forbes fait remarquer qu'*a priori* le but de la *Cataract Construction Compagny* n'est pas de fournir le courant à tous indistinctement et, en particulier, pour l'éclairage des villes et locaux qui ne consomment de courant que pendant deux ou trois heures en moyenne par vingt-quatre heures, mais au contraire de choisir parmi les consommateurs ceux qui l'utiliseront pendant la plus grande partie du jour et de la nuit. Pour ceux-là, la dépense de transformateurs pour l'éclairage sera une question secondaire.

Pour les autres, qui s'adresseront uniquement à la Compagnie pour l'éclairage, le courant leur sera fourni à un prix plus élevé que ceux qui le consomment pour la force motrice.

D'ailleurs il est utile de faire remarquer que, si le coût du transformateur augmente avec la diminution de la fréquence, l'augmentation de la dépense n'est qu'apparente.

En effet, le plus bas prix connu d'un grand transformateur alimenté par un courant à 42 périodes est de 16 francs environ par cheval. Si nous admettons, d'après les expériences mêmes de M. Forbes, qu'un courant de fréquence moitié moindre, c'est-à-dire à 21 périodes, coûte 50 p. 100 en plus, l'augmentation du prix du transformateur, pour cet abaissement de fréquence, est de 8 francs environ; mais il ressort de ces mêmes expériences que le rendement du transformateur augmente, dans ces conditions, de 3 p. 100. Or, si nous admettons que le prix de revient du courant primaire est de 50 fr. par an (*) et par cheval, le gain dû à l'amélioration du rendement ressort à la somme de 1f,50 par an et par cheval, bien supérieure à l'intérêt à 5 p. 100 de l'augmentation de dépense de 8 francs qui résulte de l'augmentation des dimensions du transformateur, puisque cet intérêt n'est que de 0f,40 par an.

M. Forbes ajoute en outre, qu'en fait, le principal client qui s'adresserait à la *Cataract Construction Company*, exclusivement pour la lumière, est la ville de Buffalo, qui assure actuellement cet éclairage au moyen de machines à vapeur de la force de 3.000 chevaux, qu'il s'agit simplement de remplacer par des moteurs électriques : alors la fréquence du courant primaire n'est plus en question dans ce cas particulier.

La justification de la basse fréquence adoptée par M. Forbes étant ainsi établie, nous donnons ci-dessous les grandes lignes du profil.

Les turbines génératrices, toutes de même dimension, auront chacune une puissance de 5.000 chevaux-vapeur et seront établies au fond d'une large fosse, et leurs arbres moteurs émergeront à la surface de l'usine où ils seront en connexion directe avec un alternateur de même puissance que la turbine.

Les induits seront fixés et placés au centre du générateur, tandis qu'au contraire les inducteurs, formés d'une étoile à 8 bras en acier forgé munis de pôles radialement, tourneront autour de l'induit. L'extrémité des arbres des turbines est soli-

(*) Voir *Electricien*, n° 148, du 28 octobre 1893, p. 283.

dement soutenue par deux paliers armés chacun de quatre bras.

M. Forbes propose de faire circuler, dans les conducteurs, un courant de 20.000 volts en employant un fil de retour; l'expérience de Deptford, où on transporte l'énergie au moyen d'un courant de 10.000 volts, en mettant un pôle à la terre ayant donné des bons résultats, cette tension de 20.000 volts avec l'emploi d'un fil de retour, ne paraît donc pas exagérée à M. Forbes.

Il avait tout d'abord pensé, pour réduire la dimension des générateurs, à produire le courant à une tension de 2.000 volts et à le relever ensuite sur place à 20.000 volts, par l'intermédiaire d'un transformateur; mais, bien entendu, il a constaté immédiatement qu'il doublait le prix de l'installation de l'usine.

Il a donc pensé faire produire immédiatement aux génératrices un courant de 20.000 volts.

Mais des considérations de l'ordre économique l'ont immédiatement arrêté.

En effet, si en Europe on a le choix entre différents constructeurs pour fournir des machines fonctionnant convenablement à ce haut potentiel, il n'en est pas de même en Amérique où on n'a guère dépassé comme voltage le chiffre de 2.000 volts et où on ne peut guère espérer trouver des constructeurs garantissant leurs machines, lorsque le voltage exigé dépasse 5.000 volts.

Deux solutions étaient donc en présence: ou bien construire les dynamos de 20.000 volts à l'Étranger et les importer en Amérique, quitte à payer des droits d'entrée excessivement élevés; ou bien se résigner à employer des dynamos de 2.000 volts construites en Amérique, quitte à augmenter les dimensions des conducteurs.

C'est ce dernier système qui a prévalu.

Conséquemment, le courant sera fourni par les génératrices à la tension de 2.000 volts; il se composera de deux courants élémentaires de même période et dont les phases seront décalées de 90°, chacun de ces deux courants pouvant être utilisé seul pour les tramways électriques, l'électro-métallurgie et pour les moteurs ordinaires, et les deux simultanément, pour alimenter les moteurs du genre Tesla.

La canalisation, qui sera très importante, étant donné le faible voltage, est déjà en cours d'établissement sur une longueur de 1 kilomètre entre les chutes et la *Pittsburg Reduction Company's Work*, qui sera un des plus gros clients de la *Cataract Reduction Company* et trois turbines de 5.000 chevaux étudiées par MM. Faesch et Piccard de Genève, et 3 alternateurs de M. George Forbes sont actuellement en chantier en Amérique.

(*Électricien.*)

Bobine à self-induction compensée de M. Tesla (*).

Dans les appareils électriques pour courants alternatifs, la self-induction joue souvent un rôle désavantageux. Ses effets peuvent, comme on sait, être neutralisés en proportionnant convenablement la capacité du circuit. C'est ce que l'on a fait jusqu'ici en employant des condensateurs. Pour éviter de se servir de condensateurs auxiliaires, M. Tesla a imaginé un procédé d'enroulement des bobines qui permet de leur donner une capacité propre variable.

On sait que, dans toute bobine, la self-induction et la capacité se compensent par une certaine fréquence du courant. Dans les bobines ordinaires, la différence de potentiel entre les spires contiguës est généralement très faible, de sorte que la capacité est petite et ne peut avoir d'effet utile que pour les courants de grande fréquence.

Pour augmenter cette capacité, M. Tesla enroule la bobine de façon que la différence de potentiel entre les spires soit plus grande et, par conséquent, aussi la capacité d'emmagasinement de l'énergie.

Avec l'enroulement ordinaire, supposons qu'entre les extrémités du fil existe une différence de potentiel de 100 volts et que l'enroulement comporte 1.000 tours de fil; il existera entre deux points contigus de deux espèces une différence de potentiel d'un dixième de volt.

Si maintenant, on enroule parallèlement au premier con-

(*) *Electrical Engineer*, de New-York.

ducteur A un second conducteur B, dont l'extrémité d'entrée soit reliée au bout de sortie du premier, et si le nombre de tours est le même, soit 1.000, la différence de potentiel entre deux points A et B sera de 50 volts, et l'énergie que pourra emmagasiner la bobine grâce à sa capacité, augmentant comme le carré de la différence de potentiel, sera 250.000 fois plus grande.

Sur ce principe, une bobine peut être enroulée en totalité ou partiellement, non seulement comme nons venons de le dire mais encore de plusieurs manières analogues, toujours dans le but de créer entre deux spires une différence de potentiel convenable pour l'effet de capacité que l'on désire obtenir.

La capacité ainsi obtenue présente encore cet avantage d'être uniformément distribué le long du conducteur tout comme la self-induction.

Conservation des objets en fer.

M. Bertrand emploie depuis quelque temps un nouveau procédé pour recouvrir d'une couche inattaquable aux acides isolants, insensible aux actions atmosphériques, les objets en fer ou en fonte.

Ce procédé a été décrit dernièrement à la *Société d'encouragement* par M. de Rochefort-Luçay; il consiste à produire sur le métal une couche d'oxyde magnétique qui jouit des propriétés indiquées ci-dessus.

Si sur le fer ou la fonte on forme une pellicule adhérente d'un autre métal et qu'on expose les pièces, à la température de 1.000 degrés centigrades, à l'action du gaz oxydant, l'oxygène pénètre à travers cette pellicule et, dans ces conditions, forme de l'oxyde magnétique; la pellicule du métal étranger forme des oxydes qui se mêlent à l'oxyde de fer ou se volatilisent. Voici comment opère M. Bertrand :

La pièce est nettoyée, puis trempée dans un bain d'une dissolution de sulfophénates de cuivre et d'étain. La couche de bronze formée, la pièce est lavée à l'eau chaude et séchée à la sciure de bois.

On l'expose ensuite de 15 à 30 minutes dans un four à flamme ouverte ordinaire; la couche produite varie de 0mm,1 à 0mm,2 d'épaisseur.

La fonte ainsi oxydée s'émaille très facilement; enfin M. Bertrand, par l'emploi de l'acide sulfophénique, a réussi également à étamer la fonte. (*Électricien*, n° 159.)

Système de distribution de M. Vail pour tramways électriques.

Des efforts répétés ont été faits en vue d'augmenter le rendement d'un système de distribution dans lequel les rails forment la ligne de retour ou entrent en partie dans la ligne de retour. Les principaux défauts d'une telle méthode consistent dans le trouble qu'elle jette dans les lignes téléphoniques à retour par la terre, dans les effets d'électrolyse déterminés sur les conduites d'eau et de gaz, dans la perte de charge sur les parties de la ligne éloignées de l'usine centrale.

Le dispositif de M. Vail a pour objet d'éliminer toutes ces difficultés.

Les pôles positif et négatif de la machine génératrice sont respectivement reliés à deux barres communes. Un conducteur principal continu règne le long de la ligne, placée sur poteaux ou souterrainement, et est relié, à certains intervalles, au fil de trolley par des branchements. De la barre positive de la station émanent des conducteurs, en nombre convenable, qui, à différentes distances de l'usine, sont rattachés au conducteur principal. Les sections de ces conducteurs sont calculées pour une chute de potentiel prédéterminée et les points de liaison au conducteur principal sont mathématiquement établis à l'avance pour assurer un potentiel constant dans toutes les portions du conducteur principal.

Les joints des rails sont exécutés de la façon la plus rationnelle pour en rendre le circuit aussi complet que possible. Un autre conducteur principal de retour est établi le long de la voie, soigneusement isolé du sol par des isolateurs fixés sur poteaux ou dans un caniveau souterrain ; il est relié de distance en distance avec les rails et, pour plus de commodité,

avec les joints des rails. Il est bien entendu que ces branchements sont isolés sur leur parcours jusqu'à leur jonction aux rails. Si on le préfère, le circuit principal de retour peut être situé entre les rails, en caniveau, mais isolé de la terre.

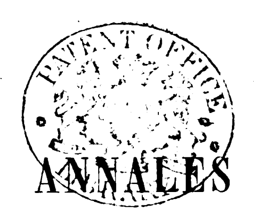
La barre négative de l'usine est alors mise en communication, par un nombre de conducteurs suffisant, avec le conducteur principal de retour, les points de raccordement ayant été choisis pour que chacun ait le même potentiel. Par ces moyens, la différence de potentiel entre les bornes de chaque moteur demeure pratiquement constante.

Le système, il nous semble, revient à établir des feeders tant à l'aller qu'au retour, de façon à uniformiser le potentiel sur la ligne et à ouvrir à la circulation du courant une voie de retour vers l'usine plus facile que celle offerte par les files de rails en contact avec le sol.

(*Électricien*, n° 160.)

L'Éditeur-Gérant : Vve Ch. Dunod et P. Vicq.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.



ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1894 Mars-Avril

THÉORIE DU CHAMP D'UN VECTEUR (*)

16.7.94

DÉFINITIONS ET FORMULES DE TRANSFORMATION.

1. *Vecteurs. Champ d'un vecteur.* — On appelle *vecteur* un segment de droite AB défini par son origine A, par sa direction (indiquée par une flèche, *fig.* 1) et par sa grandeur $f = AB$. En coordonnées cartésiennes ce vecteur sera défini par les coordonnées (x, y, z) de son origine A et par ses projections XYZ, positives ou négatives, sur trois axes de coordonnées Ox, Oy, Oz, *que nous supposerons toujours rectangulaires et formant*

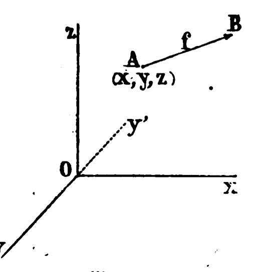


Fig 1.

(*) Extrait du Cours d'électricité professé à l'École supérieure (2e section). La théorie exposée dans cette note sous une forme générale, s'applique à un champ électrique et à un champ magnétique, en remplaçant le mot *vecteur* par *intensité du champ électrique* et *intensité du champ magnétique.*

un trièdre direct (par opposition au trièdre *inverse* que formeraient les axes Ox, Oy', Oz).

Si X, Y, Z désignent trois fonctions *uniformes* des coordonnées x, y, z dans un espace U limité par une surface S, c'est-à-dire si en tout point de U chacune de ces fonctions a une valeur unique bien déterminée, nous pouvons imaginer, appliqué en chaque point M, un vecteur f ayant pour projections sur les axes de coordonnées les valeurs de X, Y, Z en ce point. Nous appellerons l'espace U *champ du vecteur* f. Dans le cas où X, Y, Z sont nuls dans tout l'espace extérieur à S, on dira que le champ U est *complet*. Nous n'étudierons que des champs complets d'étendue finie, cette étendue pouvant être d'ailleurs aussi grande que l'on voudra.

Par exemple, dans un corps U solide ou fluide en mouvement, à une époque t quelconque, chacun de ses points est animé d'une vitesse f bien déterminée en grandeur et en direction. Ce corps U peut être considéré comme le champ d'un vecteur f représentant la vitesse aux divers points; dans ce cas les fonctions X, Y, Z sont les projections de la vitesse f sur les axes de coordonnées. Si ces fonctions dépendent du temps t, l'état du champ varie avec le temps.

Dans le cas où le vecteur f appliqué au point M représente une force, on dit que l'espace U est un *champ de force*.

2. *Équations géométriques.* — On appelle résultante de plusieurs vecteurs $f_1 f_2 f_3 \ldots$ le vecteur f qui va de l'origine M à l'extrémité M' d'un polygone dont les côtés successifs ont les grandeurs et les directions respectives des vecteurs $f_1 f_2 f_3 \ldots$ (*fig.* 2). Pour exprimer que les vecteurs $f_1 f_2 f_3 \ldots$ sont *ajoutés* bout à

bout, on écrira :

$$\bar{f} = \bar{f_1} + \bar{f_2} + \ldots = \Sigma \bar{f_k},$$

la notation $\bar{f_k}$ représentant à la fois la grandeur f_k et la direction d'un vecteur; et l'on dira que $\bar{f}$ est la *somme géométrique* de $\bar{f_1}\, \bar{f_2}\, \bar{f_3} \ldots$ Nous ferons souvent usage de la somme géométrique et de l'équation géométrique précédente, qui remplace avantageusement l'ensemble des trois équations équivalentes en coordonnées cartésiennes :

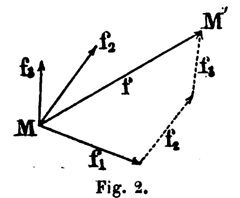


Fig. 2.

$$X = X_1 + X_2 + \ldots \quad Y = Y_1 + Y_2 + \ldots \quad Z = Z_1 + Z_2 + \ldots$$

Lorsque les vecteurs $\bar{f_1}\, \bar{f_2} \ldots$ sont infiniment petits et en nombre infiniment grand, on remplace le signe Σ par le signe $\int$ et l'on a une *intégrale géométrique*. Ainsi l'équation

$$\bar{f} = \int_{t_0}^{t_1} \bar{\varphi}\, dt,$$

où $\bar{\varphi}$ est un vecteur fonction du temps t, exprime que $\bar{f}$ est la somme géométrique des valeurs du vecteur $\bar{\varphi}\, dt$ (ayant même direction que φ) correspondant aux divers éléments dt en lesquels on suppose divisé l'intervalle de temps $t_1 - t_0$. En d'autres termes $\bar{f}$ est l'intégrale géométrique de la différentielle $\bar{\varphi}\, dt$. L'accroissement géométrique du vecteur $\bar{f}$ entre les époques t_1 et $(t_1 + dt)$ est égale à sa *différentielle géométrique* $\overline{df}$, à un infiniment petit près du second ordre ; cet accroissement est évidemment $\bar{\varphi_1}\, dt$, $\bar{\varphi_1}$ désignant la valeur de φ à l'époque t_1 :

$$\overline{df} = \bar{\varphi_1}\, dt.$$

Il résulte de là que la *dérivée géométrique* du vecteur $\overline{f}$ par rapport à t, définie comme étant le rapport $\frac{\overline{df}}{dt}$, est égale à $\overline{\varphi}$.

3. *Axe de deux vecteurs.* — Soient f_1 et f_2 deux vecteurs appliqués à un même point M, θ leur angle inférieur à 180°. On appelle *axe des vecteurs* $\overline{f}_1$ et $\overline{f}_2$ un nouveau vecteur $\overline{f}$ défini comme il suit :

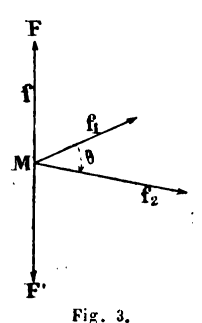


Fig. 3.

1° Sa grandeur $f = \mathrm{MF}$ est égale au produit $f_1 f_2 \sin\theta$, c'est-à-dire à l'aire du parallélogramme ayant pour côtés les vecteurs f_1 et f_2 ;

2° Il est porté sur la perpendiculaire au plan des vecteurs f_1 et f_2 dans une direction MF telle que, pour un observateur placé le long de MF, les pieds en M et la tête en F, le *premier* vecteur f_1 doive tourner de gauche à droite en décrivant l'angle θ pour venir s'appliquer sur le *second* vecteur f_2.

Si l'on intervertit l'ordre des vecteurs f_1 et f_2, la direction MF est remplacée par la direction opposée MF′. Ainsi, en appliquant la règle précédente, on trouve que *l'axe des vecteurs* f_2 *et* f_1 est représenté par le segment de droite MF′ égal à MF en valeur absolue.

En coordonnées cartésiennes, on démontre facilement que les projections $(X_1 Y_1 Z_1)$ et $X_2 Y_2 Z_2)$ des deux vecteurs f_1 et f_2 sont reliées aux projections (X, Y, Z) de leur axe f par les formules :

$$(1)\quad X = Y_1 Z_2 - Z_1 Y_2 \qquad Y = Z_1 X_2 - X_1 Z_2 \qquad Z = X_1 Y_2 - Y_1 X_2.$$

Nous remplacerons souvent ces formules par la nota-

tion

$$\bar{f} = (\bar{f}_1, \bar{f}_2)$$

pour représenter en grandeur et en direction l'axe $\bar{f}$ de deux vecteurs $\bar{f}_1$ et $\bar{f}_2$.

Si $\bar{f}_1$ est la résultante de deux vecteurs $\bar{f}'_1$, $\bar{f}''_1$, il est facile de vérifier que l'on a :

$$\bar{f} = (\bar{f}'_1 + \bar{f}''_1, \bar{f}_2) = (\bar{f}'_1, \bar{f}_2) + (\bar{f}''_1, \bar{f}_2)$$

D'une manière générale :

$$(2) \qquad \begin{aligned} \bar{f} &= (\bar{f}'_1 + \bar{f}''_1 + \ldots + \bar{f}^k_1 + \ldots, \bar{f}'_2 + \bar{f}''_2 + \ldots + \bar{f}^m_2 + \cdots) \\ &= \Sigma(\bar{f}^k_1, \bar{f}^m_2) \end{aligned}$$

car :

$$X = \Sigma Y^k_1 \, \Sigma Z^m_2 - \Sigma Z^k_1 \, \Sigma Y^m_2 = \Sigma(Y^k_1 Z^m_2 - Z^k_1 Y^m_2).$$

4. *Transformation d'une intégrale de surface en intégrale de volume.* — Dans les calculs qui vont suivre, nous supposerons que les fonctions X, Y, Z, φ,... sont continues, ainsi que leurs dérivées du premier ordre $\frac{\partial X}{\partial x}, \frac{\partial X}{\partial y}, \frac{\partial X}{\partial z}, \frac{\partial Y}{\partial x}, \ldots$, sauf sur certaines surfaces dites *de discontinuité*.

Nous considérerons un volume U (*fig.* 4) qui peut être limité par une surface extérieure ou enveloppante S_1 et par des surfaces intérieures telles que S_2 (l'espace qui ne fait pas partie du volume U est représenté par des hachures horizontales). Si, en

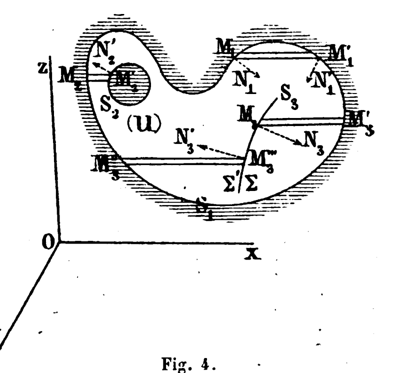


Fig. 4.

outre, S_3 représente une surface de discontinuité, fermée ou non, on attribuera à cette surface deux faces Σ et Σ', comme si entre Σ et Σ' existait un volume d'épaisseur infiniment petite, extérieur à la région U. Nous représenterons par S, pour abréger, l'ensemble des surfaces S_1, S_2, S_3 (à deux faces)... qui limitent le volume U. Toutes les normales M_1N_1 — $M'_2N'_2$ — M_3N_3 (face Σ de S_3) — $M'''_3N'_3$ (face Σ' de S_3), que nous mènerons à la surface S, seront dirigées vers l'intérieur de la région U.

Ceci posé, considérons l'intégrale :

$$I = \int_u \frac{\partial X}{\partial x}\, d\varpi = \iiint_u \frac{\partial X}{\partial x}\, dx\, dy\, dz,$$

où $d\varpi$ désigne un élément de volume infiniment petit pris autour du point (x, y, z) dans le champ d'intégration U. Une première intégration par rapport à x donnera, pour le volume d'un parallélipipède rectangle ayant une section droite $dydz$ et allant d'un élément dS de la surface S à un autre élément dS' (par exemple de M_1 en M'_1 — ou de M_2 en M'_2 — ou de M_3 en M'_3) :

$$\int_{ds}^{ds'} \frac{\partial X}{\partial x}\, dx = X' - X,$$

X et X' désignant les valeurs de la fonction X aux points où l'on a pris les éléments de surface dS et dS'. Bien entendu, si l'on prend ces éléments en M_3 et M'_3, comme X au point M_3 a deux valeurs différentes, suivant que l'on regarde ce point comme appartenant à la face Σ ou à la face Σ' de la surface de discontinuité S_3, on devra choisir la valeur correspondant à la face Σ.

En désignant par l, m, n et l', m', n' les cosinus directeurs des normales aux éléments dS et dS', on

aura évidemment, puisque $dydz$ est positif :

$$dy\,dz = l\,dS = -l'\,dS',$$

de telle sorte que l'on peut écrire :

$$I = \iint (X' - X)\,dy\,dz = \iint -(lX\,dS + l'X'\,dS')$$

ou, plus simplement :

$$\int_u \frac{\partial X}{\partial x}\,d\varpi = -\int_S lX\,dS, \tag{3}$$

l'intégrale du second membre devant être étendue aux surfaces S_1 S_2... et aux deux faces des surfaces S_3.

Transformons d'une manière analogue les intégrales $\int_u \frac{dY}{dy}\,d\varpi$ et $\int_u \frac{dZ}{dz}\,d\varpi$, et ajoutons. Il vient :

$$\int_u \left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}\right) d\varpi = -\int_S (lX + mY + nZ)\,dS. \tag{4}$$

En remplaçant dans cette formule X, Y, Z par φX, φY, φZ et développant, on trouve :

$$\int_u \varphi \left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}\right) d\varpi + \int_S \varphi\,(lX + mY + nZ)\,dS = \int_u -\left(X\frac{\partial \varphi}{\partial x} + Y\frac{\partial \varphi}{\partial y} + Z\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right) d\varpi \tag{5}$$

5. *Transformation d'une intégrale de ligne en intégrale de surface.* — Soit :

$$I = \int_c X\,dx$$

une intégrale prise le long du contour C d'une surface non fermée S. Pour plus de généralité, on supposera que cette surface peut avoir des trous tels que celui qui a pour contour la courbe C_2. En outre, S peut rencontrer une surface de discontinuité de la fonc-

tion X (x, y, z) suivant une courbe C_3, à laquelle nous attribuerons deux côtés Σ et Σ'. La lettre C représentera l'ensemble des courbes C_1 C_2 C_3 (à deux côtés),

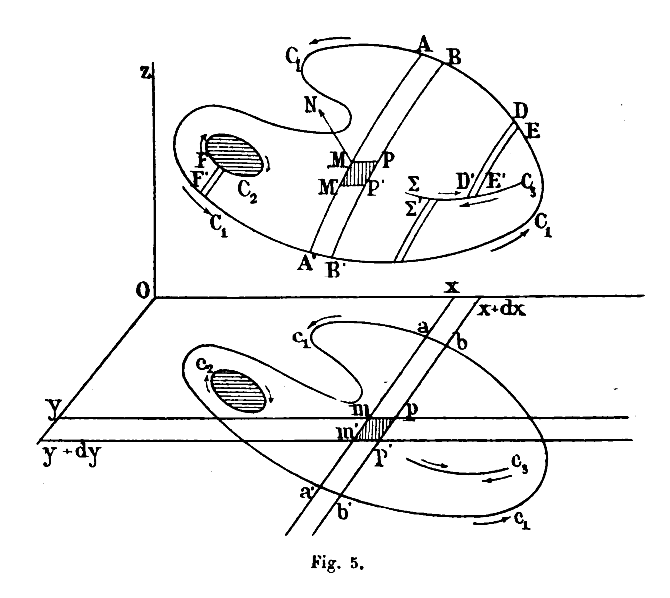


Fig. 5.

dont le sens *positif* de description est indiqué par les flèches. La lettre S représentera la surface bordée par ces courbes (partie non couverte de hachures horizontales). Nous attribuerons à cette surface une face positive et une face négative; la face positive est telle que, pour un observateur debout sur cette face près de l'un des contours C_1, C_2, Σ, Σ', un mobile passant devant lui et décrivant le contour en question dans le sens *positif*, paraisse se déplacer de droite à gauche.

Découpons S, par des plans perpendiculaires à l'axe Ox et infiniment rapprochés (... x, $x + dx$, ...), en bandes telles que AMA'B'PB — DD'E'E — FF'G'G... Pour deux éléments correspondants du contour C, tels

que AB et A′B′, dx a des valeurs égales et de signes contraires à cause du sens de description. On peut donc écrire :

$$I = \int_c X\,dx = \int (X_{A'} - X_A)\,dx.$$

Mais $(X_{A'} - X_A)$ est l'accroissement de X quand on passe du point A au point A′ en se déplaçant, par exemple, le long de la courbe AMA′ :

$$X_{A'} - X_A = \int_{AMA'} \delta X = \int_{AMA'} \left(\frac{\partial X}{\partial x}\,\delta x + \frac{\partial X}{\partial y}\,\delta y + \frac{\partial X}{\partial z}\,d z \right),$$

δx, δy, δz désignant les projections, sur les axes de cordonnées, de l'arc infiniment petit MM′ de la courbe d'intégration AMA′. Pour transformer cette expression, découpons encore la surface S par des plans perpendiculaires à Oy et infiniment rapprochés (... y, $y + \delta y$, ...). On aura ainsi des éléments de surface tels que MM′P′P (projeté en $mm'p'p$ sur le plan xOy), dont l'aire dS, à un infiniment petit près d'ordre négligeable, est égale à celle du parallélogramme qui aurait pour côtés :

1° MM′, dont les projections sont : $\delta x = 0$, δy, δz ;
2° MP, id. $\delta_1 x = dx$, $\delta_1 y = 0$, $\delta_1 z$.

L'axe des vecteurs MP et MM′ a pour grandeur dS et a la direction MN de la normale à la face positive de S en M. Si l, m, n sont les cosinus directeurs de cette direction MN, en vertu des formules (1), on aura :

$$l\,dS = \ldots\ldots$$
$$m\,dS = \delta_1 z\,\delta x - \delta_1 x\,\delta z = -\,dx\,\delta z,$$
$$n\,dS = \delta_1 x\,\delta y - \delta_1 y\,\delta x = +\,dx\,\delta y.$$

on en déduit :

$$dx(X_{A'}-X_A)=\int_{AMA'}\left(\frac{\partial X}{\partial y}\delta y+\frac{\partial X}{\partial z}\delta z\right)dx$$
$$=\int_{AMA'}\left(n\frac{\partial X}{\partial y}-m\frac{\partial X}{\partial z}\right)dS,$$

d'où :

$$I=\int(X_{A'}-X_A)\,dx=\int_S\left(n\frac{\partial X}{\partial y}-m\frac{\partial X}{\partial z}\right)dS,$$

cette dernière intégrale devant être étendue à toutes les bandes telles que AMA'B'PB, c'est-à-dire à la surface S tout entière.

On transformerait de même $\int_C Y\,dy$ et $\int_C Z\,dz$ en permutant circulairement les fonctions X, Y, Z ainsi que x, y, z et l, m, n. En ajoutant ces diverses formules, on aura donc :

$$\int_c(X\,dx+Y\,dy+Z\,dz)=\int_S\left[\left(n\frac{\partial X}{\partial y}-m\frac{\partial X}{\partial z}\right)+\left(l\frac{\partial Y}{\partial z}-n\frac{\partial Y}{\partial x}\right)\right.$$
$$\left.+\left(m\frac{\partial Z}{\partial x}-l\frac{\partial Z}{\partial y}\right)\right]dS,$$

ou :

$$(6)\quad \int_c(X\,dx+Y\,dy+Z\,dz)=\int_S\left[l\left(\frac{\partial Y}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial y}\right)+m\left(\frac{\partial Z}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial z}\right)\right.$$
$$\left.+n\left(\frac{\partial X}{\partial y}-\frac{\partial Y}{\partial x}\right)\right]dS.$$

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DU CHAMP D'UN VECTEUR.

6. *Fonctions* ρ *et* $\overline{\mu}$. — Nous poserons, dans la suite, pour abréger :

$$(7)\qquad \frac{\partial X}{\partial x}+\frac{\partial Y}{\partial y}+\frac{\partial Z}{\partial z}=4\pi\rho,$$

$$(8)\quad \frac{\partial Y}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial y}=4\pi\mu_x\quad \frac{\partial Z}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial z}=4\pi\mu_y\quad \frac{\partial X}{\partial y}-\frac{\partial Y}{\partial x}=4\pi\mu_z,$$

et nous considérerons en outre μ_x μ_y μ_z comme les projections, sur les axes de coordonnées, d'un vecteur $\bar{\mu}$, qui est évidemment bien déterminé en chaque point du champ du vecteur f dont les composantes sont X, Y, Z. Les fonctions ρ et $\bar{\mu}$ joueront un rôle très important. Quand elles sont données, pour calculer X, Y, Z, on doit intégrer les équations (7) et (8); cette intégration, que nous allons effectuer, est très simple.

Remarquons en passant que la donnée des *quatre* fonctions ρ, μ_x, μ_y, μ_z pour déterminer les *trois* fonctions X, Y, Z est surabondante. En réalité, des équations (8), on déduit que μ_x, μ_y, μ_z doivent satisfaire à la condition :

$$(9) \qquad \frac{\partial \mu_x}{\partial x} + \frac{\partial \mu_y}{\partial y} + \frac{\partial \mu_z}{\partial z} = 0;$$

on appelle cette condition *solénoïdale*, et l'on dit que la distribution du vecteur $\bar{\mu}$ dans le champ est solénoïdale.

7. *Intégration des équations* (7) *et* (8). — Appliquons la formule (5) en posant :

$$\varphi = \frac{\partial \left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x},$$

r désignant la distance du point M (x, y, z) à un point fixe A(α, β, γ). Toutefois, pour éviter que $\frac{1}{r}$ devienne infini dans le champ d'intégration quand le point A est intérieur au volume U, nous diviserons ce volume en deux parties par la surface Σ'' d'une sphère de rayon ε ayant pour centre le point A; nous appellerons U_1 la partie de U extérieure à Σ'', et U_2 la partie intérieure, et nous appliquerons la formule (5) au vo-

lume U_1. On a ainsi :

$$(10)\quad \left\{ \begin{aligned} &\int_{u_1} \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}\left(\frac{\partial X}{\partial x}+\frac{\partial Y}{\partial y}+\frac{\partial Z}{\partial z}\right)d\varpi \\ &+\int_{S+\Sigma''} \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}(lX+mY+nZ)\,dS \\ &=-\int_{u_1}\left[X\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x^2}+Y\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x\,\partial y}+Z\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x\,\partial z}\right]d\varpi, \end{aligned}\right.$$

en désignant par $(S+\Sigma'')$ l'ensemble de la sphère Σ'' et des surfaces dont nous avions déjà désigné l'ensemble par la lettre S. Le second membre de (10) devient (en remplaçant, dans la formule 2, X par

$$X\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}+Y\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}+Z\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}$$

et effectuant les calculs) :

$$(10')\quad \left\{ \begin{aligned} &-\int_{u_1}\left[X\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x^2}+Y\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x\partial y}+Z\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x\partial z}\right]d\varpi \\ &=\int_{S+\Sigma''} l\left[X\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}+Y\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}+Z\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right]dS \\ &+\int_{u_1}\left[\frac{\partial X}{\partial x}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}+\frac{\partial Y}{\partial x}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}+\frac{\partial Z}{\partial x}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right]d\varpi. \end{aligned}\right.$$

On a du reste identiquement :

$$(10'')\quad \left\{ \begin{aligned} &\int_{u_1}\left[\frac{\partial X}{\partial x}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}+\frac{\partial Y}{\partial x}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}+\frac{\partial Z}{\partial x}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right]d\varpi \\ &=\int_{u_1}\left[\frac{\partial X}{\partial x}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}+\frac{\partial X}{\partial y}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}+\frac{\partial X}{\partial z}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right]d\varpi \\ &-\int_{u_1}\left[\left(\frac{\partial X}{\partial y}-\frac{\partial Y}{\partial x}\right)\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}-\left(\frac{\partial Z}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial z}\right)\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right]d\varpi. \end{aligned}\right.$$

Or, en remplaçant dans la formule (4) X, Y, Z respectivement par $X\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}$, $X\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}$, $X\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}$ et développant, il vient :

$$(10''')\left\{\begin{aligned}&\int_{u_1}\left[\frac{\partial X}{\partial x}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}+\frac{\partial X}{\partial y}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}+\frac{\partial X}{\partial z}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right]d\varpi\\&=-\int_{S+\Sigma''}\left[l\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}+m\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}+n\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right]X\,dS\\&-\int_{u_1}X\left[\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z^2}\right]d\varpi.\end{aligned}\right.$$

Remarquons que cette dernière intégrale est nulle, car de :

$$r^2=(x-\alpha)^2+(y-\beta)^2+(z-\gamma)^2$$

on déduit :

$$(11)\qquad \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}=\frac{\alpha-x}{r^3}\qquad \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}=\frac{\beta-y}{r^3}\qquad \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}=\frac{\gamma-z}{r^3}$$

et :

$$(10^{\text{IV}})\qquad \frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z^2}=0.$$

En tenant compte des équations (10), (10′), (10″), (10‴), (10^IV) on aura donc, toutes réductions faites :

$$(10^{\text{V}})\left\{\begin{aligned}&\int_{u_1}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}\left[\frac{\partial X}{\partial x}+\frac{\partial Y}{\partial y}+\frac{\partial Z}{\partial z}\right]d\varpi\\&+\int_{S+\Sigma''}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}[lX+mY+nZ]\,dS\\&=\int_{S+\Sigma''}\left[(lY-mX)\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}-(nX-lZ)\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right]dS\\&-\int_{u_1}\left[\left(\frac{\partial X}{\partial y}-\frac{\partial Y}{\partial x}\right)\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}-\left(\frac{\partial Z}{\partial x}-\frac{\partial X}{\partial z}\right)\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right]d\varpi.\end{aligned}\right.$$

Calculons l'ensemble des intégrales relatives à la surface Σ'' de la sphère ε, qui entrent dans cette formule. Si l'on remarque que la normale à Σ'' est dirigée vers l'intérieur de U_1, c'est-à-dire vers l'extérieur de la sphère, on aura en tout point (x, y, z) de Σ'' :

$$l = \frac{x-\alpha}{r} \qquad m = \frac{y-\beta}{r} \qquad n = \frac{z-\gamma}{r}$$

Donc en tenant compte des relations (11), remplaçant r par ε et l'élément dS par $\varepsilon^2 d\omega$ ($d\omega$ = angle solide sous lequel dS est vu du point A) :

$$\int_{\Sigma''} \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x} [lX + mY + nZ] dS$$
$$-\int_{\Sigma''} \left[(lY - mX) \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y} - (nX - lZ) \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z} \right] dS$$
$$= -\int_{\Sigma''} \frac{(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2}{r^2} X d\omega$$
$$= -\int_{\Sigma''} X d\omega = -X_m \int_{\Sigma''} d\omega = -4\pi X_m,$$

X_m désignant la valeur moyenne de X sur la sphère Σ''.

Avant de récrire l'équation (10^v), nous poserons, pour abréger :

(12) $$lX + mY + nZ = 4\pi\sigma;$$

(13) $$nY - mZ = 4\pi\tau_x; \quad lZ - nX = 4\pi\tau_y; \quad mX - lY = 4\pi\tau_z$$

et, en rappelant les formules (7) et (8), nous aurons :

$$X_m = \int_{u_1} \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x} \rho\, d\varpi + \int_{u_1} \left[\mu_z \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y} - \mu_y \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z} \right] d\varpi$$
$$+ \int_S \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x} \sigma\, dS + \int_S \left[\tau_z \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y} - \tau_y \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z} \right] dS.$$

Faisons maintenant tendre vers zéro le rayon ε de la sphère Σ'' ; X_m tend vers la valeur de X au point A,

soit $X(\alpha, \beta, \gamma)$; le volume U_1 tend vers le volume U. Quoique $\frac{1}{r}$ devienne infini si A est intérieur au volume U, il est facile de vérifier, en passant à un système de coordonnées polaires ayant pour origine le point A $(d\varpi = r^2\, d\omega\, dr)$, que les deux intégrales de volume tendent vers une limite finie et bien déterminée quand U_1 tend vers U. On a donc, finalement :

$$(14)\quad \left\{\begin{aligned} X(\alpha,\beta,\gamma) = & \int_u \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x} \rho\, d\varpi + \int_u \left[\mu_z \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y} - \mu_y \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}\right] d\varpi \\ & + \int_S \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x} \sigma\, dS + \int_S \left[\tau_z \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y} - \tau_y \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right] dS. \end{aligned}\right.$$

Si le vecteur (X, Y, Z) est continu dans tout le champ, c'est-à-dire s'il est nul en tout point de la surface limite S du champ *complet* que nous prendrons pour champ d'intégration, et s'il n'y a aucune surface de discontinuité, les intégrales de surface de la formule (14) disparaissent, et *l'on a l'intégrale* X *des équations* (7) *et* (8) *en fonction de* $\rho, \mu_x, \mu_y, \mu_z$:

$$X = \int_u \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x} \rho\, d\varpi + \int_u \left[\mu_z \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y} - \mu_y \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right] d\varpi.$$

On aurait les intégrales Y et Z par une permutation circulaire de lettres.

S'il y a des discontinuités dans le champ, la formule (14) montre que la donnée de $\rho, \mu_x, \mu_y, \mu_z$ est insuffisante pour définir X, Y, Z. On verra ci-après (§ 9), comment la connaissance des discontinuités permet de calculer $\sigma, \tau_x, \tau_y, \tau_z$ et par suite X, Y, Z.

8. *Interprétation mécanique de l'intégrale précédente.* — Supposons que le vecteur f représente une force.

Dans la formule (14), que l'on peut écrire :

$$(14')\left\{\begin{aligned} X(\alpha,\beta,\gamma) &= \int_u \frac{\rho\, d\varpi}{r^2}\frac{\alpha-x}{r} + \int_u \frac{\mu_z(\beta-y)-\mu_y(\gamma-z)}{r}\frac{d\varpi}{r^2} \\ &+ \int_S \frac{\sigma\, dS}{r^2}\frac{\alpha-x}{r} + \int_S \frac{\tau_z(\beta-y)-\tau_y(\gamma-z)}{r}\frac{dS}{r^2}, \end{aligned}\right.$$

considérons ρ comme la densité, positive ou négative, d'une certaine masse répartie dans le volume U, et σ comme la densité *superficielle* d'une masse répartie sur la surface S. Comme $\frac{\alpha-x}{r}$ est le cosinus de l'angle que fait avec l'axe des x le vecteur allant du point (x, y, z) au point (α, β, γ), la somme

$$\int_u \frac{\rho\, d\varpi}{r^2}\frac{\alpha-x}{r} + \int_S \frac{\sigma\, dS}{r^2}\frac{\alpha-x}{r}$$

est égale à la projection, sur l'axe des x, de la résultante $\overline{f_1}$ de forces fictives qu'exerceraient au point A (α, β, γ) les masses $m, m'\, m''$, ... réparties soit dans le volume $U(m=\rho\, d\varpi)$, soit sur la surface $S(m=\sigma\, dS)$, ces forces $\frac{m}{r^2}, \frac{m'}{r'^2}$ ... (*fig.* 6) obéissant à la loi de Newton relative à la gravitation universelle :

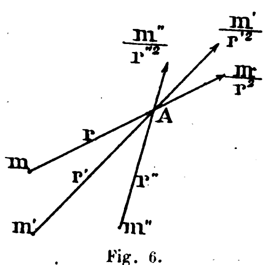


Fig. 6.

$$\overline{f_1} = \sum \frac{\overline{m}}{r^2}.$$

Pour interpréter les deux autres termes de la formule (14'), remarquons que $[\mu_z(\beta-y)-\mu_y(\gamma-z)]$ est la projection, sur l'axe des x, de l'axe du vecteur MA joignant (x, y, z) à $A(\alpha, \beta, \gamma)$ et du vecteur $\overline{\mu}$. Cet axe a pour grandeur $\mu r \sin\theta$, θ désignant l'angle des vecteurs $\overline{MA} = \overline{r}$ et $\overline{\mu}$, et il est perpendiculaire au plan

de ces deux vecteurs. Donc $[\mu_z(\beta - y) - \mu_y(\gamma - z)] \frac{d\varpi}{r^3}$ est la projection, sur l'axe des x, d'un vecteur perpendiculaire à ce plan et dont la grandeur est $\frac{\mu r \sin\theta}{r^3} d\varpi = \frac{\mu d\varpi \sin\theta}{r^2}$. Ceci étant, imaginons des masses vectorielles $\bar{\mu} d\varpi$ ayant non seulement une grandeur, mais encore une direction, qui sera celle de leur densité de volume $\bar{\mu}$. On imaginera de même des masses vectorielles réparties sur la surface S avec une densité superficielle égale au vecteur $\bar{\tau}$ qui a pour projections, sur les axes de coordonnées, τ_x, τ_y, τ_z. La somme :

$$\int_u \frac{\mu_z(\beta - y) - \mu_y(\gamma - z)}{r^3} d\varpi + \int_S \frac{\tau_z(\beta - y) - \tau_y(\gamma - z)}{r^3} dS,$$

est égale à la projection, sur l'axe des x, de la résultante $\overline{f_2}$ de forces fictives qu'exerceraient au point A (α, β, γ) les masses vectorielles $\overline{m_v}$, $\overline{m'_v}$, $\overline{m''_v}$ ... (*fig.* 7), réparties soit dans le volume U$(\overline{m_v} = \bar{\mu} d\varpi)$, soit sur la surface S$(\overline{m_v} = \bar{\tau} dS)$, ces forces $\frac{m_v \sin\theta}{r^2}$, $\frac{m'_v \sin\theta'}{r'^2}$, ... obéissant à la loi proposée par Laplace en électro-magnétisme (action d'un élément de courant sur un pôle d'aimant) :

Fig. 7.

$$\overline{f_2} = \sum \overline{\frac{m_v \sin\theta}{r^2}}.$$

D'après cette loi, en effet, la force $\frac{m_v \sin\theta}{r^2}$ développée en A par une masse vectorielle $\overline{m_v}$ appliquée en M(x, y, z) a la direction de l'axe des vecteurs $\overline{MA}$ et $\overline{m_v}$.

En résumé, X est égale à la projection, sur l'axe des x, de la résultante fictive :

$$(15) \qquad \bar{f} = \bar{f}_1 + \bar{f}_2 = \sum \frac{m}{r^2} + \sum \frac{\overline{m_v \sin \theta}}{r^2},$$

des deux forces $\bar{f}_1$ et $\bar{f}_2$ dues : la première à des actions newtoniennes, la seconde à des actions laplaciennes. De même Y et Z sont égales aux projections de cette résultante sur les axes des y et des z. Il en résulte que, *quel que soit le champ consideré, la force* $\bar{\mathrm{f}}$ *est identique à la résultante de forces fictives dues :* 1° *à des masses définies par leurs densités* ρ *et* σ (formules 7 et 12) *agissant à distance suivant la loi de Newton;* 2° *à des masses vectorielles définies par leurs densités* $\bar{\mu}$ *et* $\bar{\tau}$ (formules 8 et 13) *agissant suivant la loi de Laplace.*

La formule (15) est indépendante de l'interprétation mécanique précédente et s'applique au champ d'un vecteur $\bar{f}$ de nature quelconque. Pour la commodité du langage, nous conserverons les noms de masses aux quantités m (soit $\rho d\varpi$, soit σdS) et de masses vectorielles aux quantités $\overline{m_v}$ (soit $\bar{\mu} d\varpi$, soit $\bar{\tau} d$S). Nous appellerons *newtonien* un champ qui ne contient que des masses m, c'est-à-dire où : $\mu = \tau = 0$ en tous les points, et *laplacien* un champ qui ne contient que des masses vectorielles $\overline{m_v}$, c'est-à-dire où : $\rho = \sigma = 0$.

9. *Nouvelles expressions des densités superficielles* σ *et* $\bar{\tau}$. — Si l'on se reporte à la *fig.* 4, on voit que chacune des deux faces Σ et Σ' d'une surface de discontinuité telle que S_3 aura une couche superficielle de masses et de masses vectorielles. Transformons les formules (12 et 13) pour chacune de ces faces.

Nous désignerons par N et N' respectivement les

normales aux deux faces, qui ont des directions opposées. Pour la première face, on aura comme densité de masse :

$$\frac{lX + mY + nZ}{4\pi} = \frac{f_n}{4\pi},$$

f_n désignant la projection, sur la normale N, du vecteur $\overline{f}$ au pied de cette normale. De même la densité de masse sur la seconde face au même point aura pour expression :

$$\frac{l'X' + m'Y' + n'Z'}{4\pi} = \frac{f'_{n'}}{4\pi},$$

$f'_{n'}$ désignant la projection, sur la normale N', du vecteur $\overline{f'}$ au pied de cette normale, lequel est différent de $\overline{f}$.

La densité totale des masses, au point considéré, sur l'ensemble des deux faces de la surface de discontinuité, est donc égale à $\frac{1}{4\pi}(f_n + f'_{n'})$.

Quant à la densité de masse vectorielle $\overline{\tau}$, d'après les expressions (13) de ses composantes, elle est égale à $\frac{1}{4\pi}(\overline{f}, \overline{N})$ sur la première face et à $\frac{1}{4\pi}(\overline{f'}, \overline{N'})$ sur la deuxième face, N et N' désignant un vecteur égal à 1 porté respectivement sur les normales aux deux faces, et $(\overline{f}, \overline{N})$ désignant l'axe des vecteurs $\overline{f}$ et $\overline{N}$ (§ 3).

Nous désignerons désormais par σ et $\overline{\tau}$ les densités superficielles totales, et non plus les densités sur une seule face, de telle sorte que l'on aura sur toute surface de discontinuité :

(16) $$4\pi\sigma = f_n + f'_{n'},$$

(17) $$4\pi\overline{\tau} = (\overline{f}, \overline{N}) + (\overline{f'}, \overline{N'}).$$

Ces formules peuvent s'exprimer d'une manière très simple. Considérons à cet effet une surface de discontinuité $\Sigma\Sigma'$ (*fig*. 8). En un point M, le vecteur a deux valeurs différentes : $MF' = f'$ sur la face Σ' tournée vers la normale MN' et $MF = f$ sur la face tournée vers la normale MN. Menons $\overline{M\Phi}$ tel que :

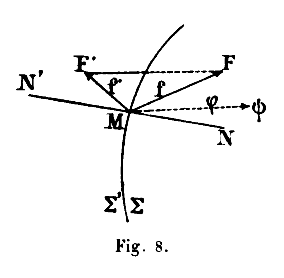


Fig. 8.

$$\overline{M\Phi} = \overline{F'F} = \bar{\varphi} = \bar{f} - \bar{f'},$$

$\bar{f} - \bar{f'}$ est l'accroissement du vecteur lorsqu'on passe de la face N' à la face N; nous appellerons le vecteur $\bar{\varphi}$ *discontinuité du vecteur* f *en passant de la face* N' *à la face* N *de* $\Sigma\Sigma'$.

La composante normale de cette *discontinuité* suivant MN a pour valeur :

$$(16') \qquad \varphi_n = f_n - f'_n = f_n + f'_{n'} = 4\pi\sigma.$$

Ainsi, au facteur 4π près, *la densité superficielle de masse* σ *n'est autre chose que la composante normale* φ_n *de la discontinuité* en un point d'une surface de discontinuité.

Pour la densité $\bar{\tau}$, remarquons que $\overline{N}$ et $\overline{N'}$ dans la formule (17) sont deux vecteurs égaux à l'unité et ayant des directions opposées; donc :

$$4\pi\bar{\tau} = (\bar{f}, \overline{N}) + (\bar{f'}, -\overline{N}) = (\bar{f}, \overline{N}) - (\bar{f'}, \overline{N})$$

et, en vertu de la formule (2) du paragraphe 3 :

$$(17') \qquad 4\pi\bar{\tau} = (\bar{f} - \bar{f'}, \overline{N}) = (\bar{\varphi}, \overline{N}).$$

Ainsi $4\pi\bar{\tau}$ est l'axe des vecteurs $\bar{\varphi}$ et $\overline{N}$. Par consé-

quent : 1° $4\pi\tau$ a pour valeur l'aire construite sur les vecteurs φ et $N = 1$, c'est-à-dire la valeur φ_t de la projection de φ sur la surface $\Sigma\Sigma'$; 2° en prenant le vecteur $\overline{\varphi_t}$, projection de $\overline{\varphi}$, et le faisant tourner de 90 degrés de droite à gauche (autour de la normale MN) dans le plan tangent à $\Sigma\Sigma'$, on obtiendra le vecteur $4\pi\overline{\tau}$ en position.

Au facteur 4π près, *la densité superficielle* $\overline{\tau}$ *de masse vectorielle n'est autre chose que la composante tangentielle* $\overline{\varphi_t}$ *de la discontinuité* ayant tourné de 90 degrés autour du point M dans le plan tangent (de droite à gauche autour de la normale MN).

La donnée des densités σ et $\overline{\tau}$ est donc équivalente à celle de la discontinuité $\overline{\varphi}$ du vecteur $\overline{f}$.

10. *Flux de vecteur.* — Écrivons la formule (4) du paragraphe 4, en tenant compte de la notation (7) :

$$(18)\quad 4\pi\int_u \rho\, d\varpi = -\int_S (lX + mY + nZ)\, dS = -\int_{S'} - \int_{S''}.$$

S′ représente l'ensemble des surfaces limites de la région U et S″ l'ensemble des surfaces de discontinuité (à deux faces) contenues dans cette région ; on se rappelle que S est l'ensemble de S′ et S″. D'après ce qui a été dit au paragraphe 9, on peut écrire :

$$\int_{S''} (lX + mY + nZ)\, dS = 4\pi\int_{S''} \sigma\, dS.$$

Donc :

$$-\int_{S'} (lX + mY + nZ)\, dS = 4\pi\left(\int_u \rho\, d\varpi + \int_{S''} \sigma\, dS\right) = 4\pi\Sigma m_i,$$

Σm_i étant la somme des masses intérieures au volume U.

D'autre part, on a :

$$(lX + mY + nZ)\, dS = f_n\, dS,$$

f_n désignant la projection du vecteur f, en un point de l'élément de surface dS, sur la normale à cet élément dirigée vers l'intérieur de U. Si $\overline{f}$ représentait la vitesse des molécules aux divers points d'un liquide en mouvement (en supposant la densité de ce liquide égale à 1), on sait que $f_n d$S serait le débit ou *flux* du liquide entrant par l'élément dS dans le volume U (pendant l'unité de temps). Par analogie, nous appellerons en général le produit $f_n d$S *flux de vecteur entrant à travers l'élément* dS; et $-f_n d$S sera le flux de vecteur sortant. La formule

$$\int_{S'} -f_n dS = 4\pi \Sigma m_i \tag{18'}$$

donnera ainsi lieu à l'énoncé suivant :

Le flux de vecteur sortant de la surface S' *qui limite un volume* U *est égal au produit de* 4π *par la somme des masses intérieures au volume* U.

Si l'on considère un champ complet (§ 1) et une surface S' l'enveloppant entièrement, le vecteur f étant nul en tout point de S', le premier membre de (18') est nul. Il en résulte que *la somme des masses d'un champ complet est identiquement nulle :* $\Sigma m = 0$.

11. *Lignes et tubes de flux.* — Dans le champ d'un vecteur f, on appelle *ligne de flux* une ligne qui est, en chacun de ses points M, M'..., tangente au vecteur $\overline{f}$, $\overline{f'}$... appliqué en ce point; le sens positif de la ligne de flux est celui du vecteur $\overline{f}$. Toute ligne de flux satisfait donc, par définition, aux équations différentielles :

$$\frac{dx}{X} = \frac{dy}{Y} = \frac{dz}{Z},$$

et par un point (x, y, z) ne passe qu'une ligne de flux,

à moins que le vecteur f ne soit nul (on suppose qu'il ne devient jamais infini).

L'ensemble des lignes de flux qui rencontrent une courbe fermée C constitue la surface latérale ΣΣ d'un *tube de flux*. Considérons un tube limité par deux sections transversales ou bases, dont les contours sont C et C'. La base S dont le contour est C sera la base d'*entrée*, l'autre S' sera la base de *sortie* pour un mobile parcourant une ligne de flux dans le sens positif à travers ce tube. Si, par exemple, f représente la vitesse aux divers points d'un liquide en mouvement, un tube de flux est un canal le long duquel ce liquide s'écoule. La forme des tubes peut varier avec le temps.

Comme sur la surface latérale du tube la composante normale f_n est nulle, le théorème ci-dessus s'énoncera en disant que *l'excès du flux de vecteur sortant par la base* S' *sur le flux de vecteur entrant par la base* S *est égal au produit de* 4π *par la somme des masses comprises dans le tube entre ces deux bases* (18').

Considérons un tube de section infiniment petite; le flux de vecteur à travers une section normale dont l'aire est s est égal à fs, puisque $f_n = f$. Si ce flux est nul sur une section s_0, ou bien cette section est réduite à un point : $s_0 = 0$, ou bien $\overline{f}$ y est nul; dans les deux cas, s_0 est une *base terminale* du tube. Un tube compris entre deux bases terminales s_0 et s_1 (*fig.* 9) est *un tube complet;* s_0 est la base initiale, s_1 la base finale. Puisque $(f_1 s_1 - f_0 s_0)$ est nul, *la somme des masses que contient un tube complet est nulle*.

Fig. 9.

On voit encore que *le quotient par* 4π *du flux de vecteur* fs *à travers une section quelconque* s *d'un tube*

complet est égal à la somme des masses qui se trouvent dans ce tube en amont de la section s *ou à la somme, changée de signe, des masses qui se trouvent en aval* (puisque $f_0 s_0 = f_1 s_1 = 0$).

Si, dans une région U du champ, le vecteur f est continu et satisfait à la condition solénoïdale :

$$4\pi\rho = \frac{dX}{dx} + \frac{dY}{dy} + \frac{dZ}{dz} = 0,$$

il n'y aura pas de masses ($\sigma = 0$, $\rho = 0$) dans toute cette région; par conséquent, *dans la partie d'un tube de flux comprise dans* U, *le flux de vecteur est le même à travers toute section transversale* normale ou oblique : $fs = f's'$.

12. *Application au flux de masse vectorielle.* — Le flux du vecteur $\overline{\mu}$ à travers une surface fermée ou non S :

$$\int_S (l\mu_x + m\mu_y + n\mu_z)\,dS = \int_S \mu_n\,dS = I,$$

s'appellera *flux de masse vectorielle ;* μ_n désigne la projection du vecteur $\overline{\mu}$ sur la normale à la face positive de l'élément de surface dS. La formule (6) du paragraphe 5 qui peut s'écrire :

$$(19)\quad \int_C (X\,dx + Y\,dy + Z\,dz) = 4\pi \int_S (l\mu_x + m\mu_y + n\mu_z)\,dS = 4\pi I,$$

s'énoncera ainsi : *L'intégrale du vecteur* f *le long du contour* C *est égale au flux de masse vectorielle à travers une surface* S *limitée au contour* C, *multiplié par* 4π.

Le choix de la surface S est indifférent. Ceci concorde avec ce qui a été dit au paragraphe 11, car le vecteur $\overline{\mu}$ satisfaisant à la condition solénoïdale :

$$\frac{d\mu_x}{dx} + \frac{d\mu_y}{dy} + \frac{d\mu_z}{dz} = 0,$$

si l'on considère le tube de flux de masse vectorielle embrassé par le contour C, c'est-à-dire dont la surface latérale passe par ce contour, le flux I a la même valeur à travers une section quelconque de ce tube.

13. *Discontinuités conventionnelles en physique.* — On admet en principe que tous les phénomènes observés sont continus. Quand on suppose des discontinuités dans le champ d'un vecteur, c'est uniquement au point de vue de la commodité du langage et de la simplification des calculs; voici comment on y est conduit.

On a souvent à considérer une partie du champ comprise entre deux surfaces excessivement rapprochées S S et S'S' (*fig.* 10), et telle que le vecteur f éprouve une variation très importante lorsqu'on traverse l'épaisseur ε de la couche mince SS'. Si l'on ne connaît pas la loi de variation rapide de f dans cette couche, on se borne à traiter la couche mince comme une *surface* de discontinuité, au passage de laquelle le vecteur éprouve la variation finie :

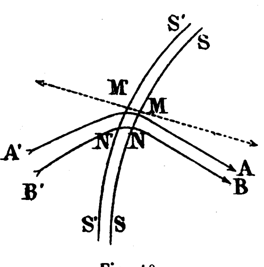


Fig. 10.

$$\bar{f} - \bar{f'} = \bar{\varphi}.$$

Si un tube de flux A'MAB'NB traverse la couche mince en découpant sur S et S' des aires dS et dS' sensiblement égales, la masse totale dm contenue dans ce tube entre les sections M'N' et MN est égale, au facteur 4π près, à l'excès du flux $f_n dS$ sortant par MN sur le flux $f'_n dS'$ entrant par M'N' :

$$f_n dS - f'_n dS' = 4\pi dm,$$

d'où, en remplaçant f_n par $-f'_{n'}$ et dS' par dS :

$$4\pi\frac{dm}{dS} = f_n + f'_{n'} = 4\pi\sigma;$$

on retrouve ainsi la formule (16) du paragraphe 9, définissant la densité superficielle de masse. La densité moyenne de masse ρ dans la couche mince étant égale à :

$$\rho = \frac{dm}{\varepsilon\cdot dS} = \frac{\sigma}{\varepsilon},$$

supposer la couche mince réduite à une surface, c'est faire $\varepsilon = 0$ et, par suite, ρ infini.

Supposons maintenant qu'un tube de flux de masse vectorielle AMBA'M'B' (*fig*, 11), dont le flux est égal à I, soit extrêmement aplati sur la partie $aba'b'$ de son parcours appartenant à la couche mince SS' d'épaisseur ε. Si MPP'M' est la section faite en M dans ce tube par un plan perpendiculaire à la densité de masse vectorielle, en divisant I par l'aire ε MP de cette section, on aura la densité moyenne $\bar{\mu}$ dans l'épaisseur de la couche. En divisant, au contraire, I par MP, on aura la densité superficielle $\bar{\tau}$ de masse vectorielle sur la surface S :

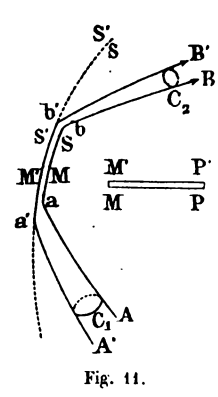


Fig. 11.

$$\bar{\tau} = \frac{I}{MP} = \bar{\mu}\cdot\varepsilon,$$

et l'on pourra alors considérer la couche SS' comme une surface de discontinuité, c'est-à-dire supposer : $\varepsilon = 0$. — On retrouvera facilement la formule (17).

Lorsque l'on se propose de calculer le vecteur $\bar{f}$ en

un point du champ par la formule (15) (§ 8), on ne commet aucune erreur sensible en remplaçant, pour la commodité des calculs, les couches excessivement minces en question par des surfaces de discontinuité, à moins qu'il ne s'agisse d'étudier le champ précisément dans le voisinage de ces surfaces, auquel cas cet artifice n'est plus permis.

CHAMP ADMETTANT UN POTENTIEL. CHAMP NEWTONIEN.

14. *Conditions pour que le champ d'un vecteur admette un potentiel. Potentiel uniforme.* — Supposons que dans une région U appartenant au champ d'un vecteur (X, Y, Z), l'intégrale

$$\int_C (X\,dx + Y\,dy + Z\,dz),$$

prise le long d'un contour fermé C quelconque, soit nulle. Cela revient à dire que la même intégrale prise le long de deux chemins AB′M et AB″M aboutissant aux mêmes extrémités, a des valeurs égales; car si l'on désigne par C le contour fermé AB′MB″A, on a :

$$\int_C = \int_{AB'M} + \int_{MB''A} = \int_{AB'M} - \int_{AB''M} = 0.$$

Dès lors, la valeur de cette intégrale ne dépend que de la position des extrémités A (a, b, c) et M (x, y, z), soit :

$$\int_{AB'M} (X\,dx + Y\,dy + Z\,dz) = -V(x, y, z, a, b, c).$$

Convenons de laisser le point A fixe, il sera inutile de mettre en évidence ses coordonnées a, b, c. La fonction V a reçu le nom de potentiel, et l'on dit que le

champ admet un potentiel *uniforme* dans la région U.

En différentiant l'équation précédente, on a :

$$X\,dx + Y\,dy + Z\,dz = -dV = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}dx + \frac{\partial V}{\partial y}dy + \frac{\partial V}{\partial z}dz\right).$$

Il en résulte :

$$X = -\frac{\partial V}{\partial x} \quad Y = -\frac{\partial V}{\partial y} \quad Z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$

et, par l'élimination de V entre ces trois équations, on trouve les relations :

$$(20) \quad \begin{cases} \dfrac{\partial Y}{\partial z} - \dfrac{\partial Z}{\partial y} = \dfrac{\partial Z}{\partial x} - \dfrac{\partial X}{\partial z} = \dfrac{\partial X}{\partial y} - \dfrac{\partial Y}{\partial x} = 0, \\ \text{ou simplement} \quad \mu = 0. \end{cases}$$

Les conditions (20), qui sont *nécessaires* en tout point de la région U pour que le champ admette un potentiel dans cette région, sont aussi *suffisantes*, car on sait qu'elles permettent d'intégrer $(X\,dx + Y\,dy + Z\,dz)$ sans définir aucune relation entre x, y, z, c'est-à-dire sans définir le chemin d'intégration AB′M (voir les traités d'Analyse). Mais le potentiel V obtenu par cette intégration n'est pas forcément uniforme.

En effet, pour que le potentiel soit uniforme, il faut et il suffit, d'après ce qui a été dit ci-dessus, que l'intégrale $\int_C (X\,dx + Y\,dy + Z\,dz)$ prise le long d'un contour fermé C quelconque, intérieur à la région U, soit nulle. La formule (6) du paragraphe 5 montre que *cette condition sera remplie chaque fois que, par tout contour fermé* C, *il sera possible de faire passer une surface* S *entièrement comprise dans la région* U *où les conditions* (20) *sont satisfaites*, car alors le second membre de cette formule sera identiquement nul. Il en est ainsi, par exemple, dans le cas où le volume U est celui d'une sphère.

Si, au contraire, on peut tracer dans U un contour C tel que toute surface S limitée à ce contour sorte *forcément* de la région U, alors il y a doute sur l'uniformité du potentiel. Ainsi le champ défini par les équations :

$$X = \frac{y}{x^2 + y^2} \quad Y = -\frac{x}{x^2 + y^2} \quad Z = 0$$

admet un potentiel :

$$V = \text{arc tg}\left(\frac{y}{x}\right);$$

mais ce potentiel n'est pas uniforme, puisqu'en un point (x, y, z) V est susceptible de prendre une infinité de valeurs différant entre elles par des multiples de 2π. Si l'on considère la partie de ce champ réduite à l'intérieur U d'un tore annulaire ayant pour axe de révolution l'axe des z, toute surface S limitée à une circonférence tracée dans le tore et ayant son centre sur l'axe coupe forcément cet axe et sort de la région U. Or, au point où S coupe l'axe, le vecteur $f = \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}}$ est infini, et la formule (6) n'est pas applicable à ce cas; c'est ce qui explique la non uniformité du potentiel dans la région U où les conditions (20) sont satisfaites.

Il en sera de même, dans le champ considéré, pour toute région U *embrassant* l'axe des z; mais dans toute région n'embrassant pas l'axe, le potentiel sera uniforme, c'est-à-dire que l'intégrale

$$\int_{AB'M} (X\,dx + Y\,dy + Z\,dz) = -V(x, y, z)$$

aura une valeur unique bien déterminée pour tout point (x, y, z), l'origine A ayant été choisie arbitrairement une fois pour toutes.

Les conditions (20) expriment que la région U ne contient pas de masses vectorielles. Si un champ *complet* ne contient pas de masses vectorielles, même sur sa surface limite, c'est-à-dire *si le champ est newtonien, il admet un potentiel uniforme*. Car, par définition du champ *complet*, le vecteur f est nul en tout point extérieur; par conséquent, la condition $\mu = 0$ est satisfaite dans tout l'espace, et le second membre de l'équation (6) est toujours nul, même si la surface S sort des limites du champ.

Si un champ complet contient des masses vectorielles dans une certaine région seulement, on peut imaginer une surface S_1 enveloppant cette région et telle que par toute courbe fermée C, tracée dans la région U extérieure à S_1, on puisse faire passer une surface S qui soit entièrement comprise dans U. Une sphère S_1, par exemple, conviendrait à cet effet; mais une surface annulaire ne remplirait pas forcément la condition imposée. Comme, par hypothèse, en tout point extérieur à S_1, la densité $\overline{\mu}$ de masse vectorielle est nulle, le champ admettra dans la région U un potentiel uniforme. En resserrant la surface enveloppante S_1 peu à peu sans déchirure, on peut faire en sorte que la région U comprenne tout l'espace où il n'y a pas de masses vectorielles; on en verra des exemples dans l'étude d'un champ laplacien.

15. *Expression du potentiel dans une région où il est uniforme.* — Considérons un champ complet enveloppé entièrement par une surface S que l'on peut supposer aussi grande que l'on voudra, et sur laquelle le vecteur f est nul. Isolons à l'intérieur d'une surface S_1 la région qui contient toutes les masses vectorielles du champ, de telle sorte qu'il y ait un potentiel uni-

forme V dans la région U comprise entre S et S_1 (*fig.* 12). On aura :

$$X = -\frac{\partial V}{\partial x} \quad Y = -\frac{\partial V}{\partial y}$$
$$Z = -\frac{\partial V}{\partial z}.$$

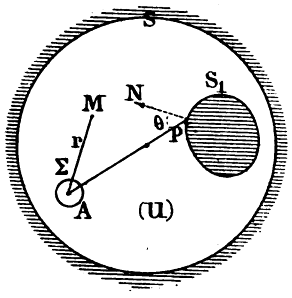


Fig. 12.

Pour calculer le potentiel V en un point A, désignons par r la distance de ce point à un point variable M (x, y, z), et appliquons la formule (5) du paragraphe 4 à la région U_1 comprise entre S, S_1 et la surface Σ d'une sphère de rayon ε ayant A pour centre :

$$\begin{aligned}
I &= \int_{u_1} \frac{1}{r}\left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}\right) d\varpi + \int_{S+S_1+\Sigma} \frac{1}{r}(lX + mY + nZ)\, dS \\
&= -\int_{u_1}\left[X\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x} + Y\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y} + Z\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right] d\varpi \\
&= \int_{u_1}\left[\frac{\partial V}{\partial x}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial z}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right] d\varpi.
\end{aligned}$$

Mais, en remplaçant, dans la formule (4), X, Y, Z par $V\frac{d\left(\frac{1}{r}\right)}{dx}$, $V\frac{d\left(\frac{1}{r}\right)}{dy}$, $V\frac{d\left(\frac{1}{r}\right)}{dz}$ et effectuant, on trouve :

$$\begin{aligned}
&\int_{u_1}\left[\frac{\partial V}{\partial x}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial z}\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right] d\varpi \\
&\qquad = -\int_{S+S_1+\Sigma} V\left[l\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x} + m\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y} + n\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}\right] dS \\
&\qquad\quad -\int_{u_1} V\left[\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z^2}\right] d\varpi.
\end{aligned}$$

La deuxième intégrale du second membre est nulle d'après l'identité (10^{IV}) du paragraphe 7; et d'après les formules (11) on a :

$$l\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x}+m\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y}+n\frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z}=\frac{\cos\theta}{r^3},$$

θ désignant l'angle que fait, en un point P de la surface S_1 par exemple, le vecteur PA avec la normale PN dirigée vers la région U. Posons :

$$\frac{dS\cos\theta}{r^2}=d\omega,$$

$d\omega$ est l'angle solide sous lequel du point A on voit l'élément de surface dS, cet angle devant être pris positivement si l'on voit la face de dS tournée vers la région U (comme sur la figure), négativement si l'on voit la face opposée. En résumé, on a :

$$I=-\int_S V\,d\omega-\int_{S_1} V\,d\omega-\int_\Sigma V\,d\omega.$$

Faisons maintenant tendre le rayon ε de la sphère Σ vers zéro; U_1 tend vers U. L'intégrale $\int_\Sigma V\,d\omega$ tend vers $-4\pi V(\alpha, \beta, \gamma)$ ($d\omega$ étant négatif). $\int_S V\,d\omega$ est égale à $4\pi K$, K désignant la valeur du potentiel sur la surface S [valeur constante, puisque, S étant en dehors du champ, on y a : $dV=-(X\,dx+Y\,dy+Z\,dz)=0$]. Pour la même raison :

$$\int_S\frac{1}{r}(lX+mY+nZ)\,dS=0.$$

L'intégrale $\int_\Sigma\frac{1}{r}(lX+mY+nZ)\,dS$ tend vers zéro en

même temps que ε. Il viendra donc :

$$I = \int_u \frac{1}{r}\left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}\right) d\varpi + \int_{S_1} \frac{1}{r}(lX + mY + nZ)\,dS$$

$$= -4\pi K - \int_{S_1} V\,d\omega + 4\pi V(\alpha, \beta, \gamma),$$

ou finalement :

$$(21) \quad V(\alpha, \beta, \gamma) = \int_u \rho \frac{d\varpi}{r} + \int_{S_1} \frac{lX + mY + nZ}{4\pi r} dS + \int_{S_1} \frac{V d\omega}{4\pi} + K.$$

La constante K peut être choisie arbitrairement, puisque V n'est définie que par ses dérivées partielles.

16. *Application à un champ newtonien.* — Dans un champ newtonien le potentiel est uniforme (§ 14); la surface S_1 n'existant pas, la formule (21) donne :

$$(22) \qquad V = \int_u \frac{\rho\,d\varpi}{r} + K = \Sigma \frac{m}{r} + K,$$

le signe Σ se rapportant à toutes les masses m du champ, même si leur répartition est en partie superficielle, ce que nous n'avons pas supposé dans les calculs du paragraphe 15. On a d'ailleurs (équation de Poisson) :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}\right) = -4\pi\rho,$$

ou :

$$\Delta V + 4\pi\rho = 0$$

en posant :

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

La formule (14) du paragraphe 7, dans le cas d'un champ newtonien sans discontinuités ($\sigma = \mu = \tau = 0$), se réduit à :

$$X(\alpha, \beta, \gamma) = \int_u \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x} \rho\,d\omega = -\int_u \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial \alpha} \rho\,d\varpi,$$

ou, comme ρ ne dépend pas de α, β, γ :

$$X = -\frac{\partial}{\partial\alpha}\int_u \frac{\rho\, d\varpi}{r} \quad Y = -\frac{\partial}{\partial\beta}\int_u \frac{\rho\, d\varpi}{r} \quad Z = -\frac{\partial}{\partial\gamma}\int_u \frac{\rho\, d\varpi}{r}.$$

Nous aurions pu nous appuyer sur ces formules pour en déduire celle du potentiel (22). Rappelons en outre la formule du paragraphe 19 :

$$\bar{f} = \Sigma \frac{\overline{m}}{r^2}.$$

Le lieu des points où le potentiel a une valeur donnée V_1 est en général une surface, dite *équipotentielle*, ayant pour équation :

$$V(x, y, z) - V_1 = 0.$$

La normale à cette surface en un point (x, y, z) a des cosinus directeurs proportionnels à $\frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}, \frac{\partial V}{\partial z}$, c'est-à-dire à X, Y, Z; elle a donc même direction que le vecteur f en ce point. On en conclut que les lignes de flux sont les trajectoires orthogonales des surfaces équipotentielles.

Soient $M(x, y, z)$ et $M'(x + dx, y + dy, z + dz)$ deux points infiniment voisins. L'intégrale du vecteur f le long du chemin $MM' = ds$ se réduit à :

$$f ds \cos(f, ds) = X dx + Y dy + Z dz = -dV,$$

d'où l'expression de la projection du vecteur f sur la droite MM' : $f \cos(f, ds) = -\frac{\partial V}{\partial s}$. Lorsque MM' est normal à la surface équipotentielle en M, on a, en remplaçant ds par dn :

$$f \cos(f, dn) = f = -\frac{\partial V}{\partial n}.$$

Cette formule montre que le potentiel va en décroissant dans la direction du vecteur f. En outre la distance dn de deux surfaces équipotentielles données V et $V + dV$ varie aux divers points en raison inverse de la grandeur de f.

A l'extérieur d'un champ newtonien complet, f étant nul, le potentiel a la valeur constante K. Il en est de même, par raison de continuité, sur la surface-limite du champ ; celle-ci est donc équipotentielle, et les lignes de flux y aboutissent normalement.

Signalons encore une propriété caractéristique du champ newtonien : *Un tube de flux ne peut se fermer sur lui-même ;* autrement, le potentiel décroissant constamment le long du tube dans la direction du vecteur, en décrivant le tube fermé tout entier et revenant ainsi au point de départ A, on trouverait une valeur finale V_1 du potentiel différente de la valeur initiale V_0 au même point A; le potentiel ne serait donc pas uniforme. *Tous les tubes de flux du champ traversent orthogonalement les surfaces équipotentielles dans le sens des potentiels décroissants et sont limités par deux bases terminales* (§ 11).

CHAMP LAPLACIEN.

17. *Propriétés générales du champ laplacien.* — Dans le cas d'un champ laplacien sans discontinuités ($\rho = \sigma = \tau = 0$), la formule (14) du paragraphe 7 se réduit à :

$$X(\alpha, \beta, \gamma) = \int_u \left[\mu_z \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y} - \mu_y \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z} \right] d\varpi$$
$$= \int_u \left[-\mu_z \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial \beta} + \mu_y \frac{\partial\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial \gamma} \right] d\varpi.$$

Posons :

$$v_\alpha = \int_u \frac{\mu_x d\varpi}{r}, \quad v_\beta = \int_u \frac{\mu_y d\varpi}{r}, \quad v_\gamma = \int_u \frac{\mu_z d\varpi}{r};$$

$v_\alpha, v_\beta, v_\gamma$ peuvent être considérés comme les projections, sur les axes de coordonnées, d'un vecteur $\bar{v}(\alpha, \beta, \gamma)$ défini par l'équation géométrique :

$$\bar{v} = \int_u \frac{\bar{\mu} d\varpi}{r}.$$

On aura alors, en remplaçant les lettres (α, β, γ) par (x, y, z) :

$$(23) \quad X = \frac{\partial v_y}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial y}, \quad Y = \frac{\partial v_z}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial z}, \quad Z = \frac{\partial v_x}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial x}.$$

Telles sont les formules qui permettent de calculer (X, Y, Z) quand on donne la distribution de la densité $\bar{\mu}$ de masse vectorielle dans le champ. Elles mettent bien en évidence la propriété qui sert de définition au champ laplacien, savoir : $\rho = 0$ ou :

$$\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} = 0.$$

Il résulte de cette condition (§ 11) que, si l'on conçoit le champ divisé en tubes de flux de section infiniment petite, le long d'un même tube le flux fs est le même à travers toute section transversale. On en conclut une propriété opposée à celle des tubes de flux d'un champ newtonien, savoir que chaque tube est fermé sur lui-même (cas particulier) ou décrit une infinité de circonvolutions (cas général). Cela résulte de ce qu'un tube ne peut s'arrêter nulle part à une base terminale; car le flux fs gardant une valeur constante I, la section transversale s ne peut devenir nulle, autrement



$f = \frac{1}{s}$ deviendrait infini et, d'autre part, f ne peut devenir nul sur toute la section, autrement c'est la section $s = \frac{1}{f}$ qui devrait être infinie.

Pour la même raison, les tubes de flux ne peuvent s'arrêter à la surface limite du champ, c'est-à-dire y aboutir obliquement ou normalement. *Ils sont tangents à cette surface limite.*

Une autre propriété caractéristique du champ laplacien, c'est que le flux de vecteur f à travers une surface S limitée à un contour C, flux dont l'expression est celle d'une intégrale de surface :

$$\int_S (lX + mY + nZ)\,dS,$$

peut s'exprimer sous la forme d'une intégrale de ligne :

$$(24) \qquad \int_S (lX + mY + nZ)\,dS = \int_c (v_x\,dx + v_y\,dy + v_z\,dz).$$

Cela résulte de l'application de la formule (6) du paragraphe 5, en remplaçant X, Y, Z par v_x, v_y, v_z :

$$\int_c (v_x\,dx + v_y\,dy + v_z\,dz)$$
$$= \int_S \left[l\left(\frac{\partial v_y}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial y}\right) + m\left(\frac{\partial v_z}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial z}\right) + n\left(\frac{\partial v_x}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial x}\right)\right] dS,$$

et en tenant compte des formules (23). On sait du reste comment le sens positif du contour C est lié à la face positive de la surface S (§ 15).

18. *Potentiel d'un champ laplacien en dehors des masses vectorielles.* — En dehors du volume contenant toutes les masses vectorielles du champ, c'est-à-dire dans la région où $\mu = 0$, on sait qu'il existe un potentiel, ce potentiel peut être rendu uniforme grâce

à certaines précautions. Nous allons d'abord traiter un cas particulier pour bien faire comprendre ceci.

Considérons un champ laplacien où le volume des masses vectorielles se réduit à un tube T fermé sur lui-même, dont la section transversale a des dimensions négligeables; soit I le flux de masse vectorielle constant tout le long de ce tube (*fig.* 13).

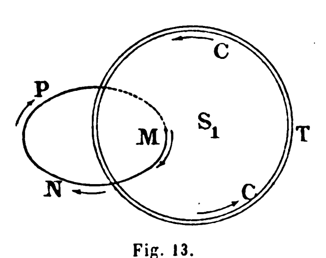


Fig. 13.

Imaginons une surface diaphragme S'_1 limitée à un contour CC tracé sur le tube, de telle sorte que tout chemin fermé MNPM embrassant ce tube doive forcément percer le diaphragme. L'ensemble de S'_1 et de la surface S''_1 du tube formera une surface continue S_1, telle que la région U du champ extérieur à S_1 admet un potentiel uniforme (§ 14-15). La valeur de ce potentiel en un point (α, β, γ) est donnée par la formule (21), que l'on peut écrire :

$$V(\alpha, \beta, \gamma) = \int_{S'_1+S''_1} \frac{lX + mY + nZ}{4\pi r} dS + \int_{S'_1+S''_1} \frac{V d\omega}{4\pi} + K,$$

en remarquant que ρ est nul dans un champ laplacien.

En raison des dimensions négligeables de la surface S''_1, les intégrales relatives à cette surface sont négligeables aussi. Il ne reste donc à prendre que les intégrales sur les deux faces de S'_1, soit :

$$V(\alpha, \beta, \gamma) = \int_{S'_1} \left(\frac{lX + mY + nZ}{4\pi r} + \frac{l'X' + m'Y' + n'Z'}{4\pi r'} \right) dS + \int_{S'_1} \frac{V d\omega + V' d\omega'}{4\pi} + K,$$

les lettres accentuées se rapportent à la seconde face.

Comme X', Y', Z', r' sont égaux à X, Y, Z, r et que $l', m' n'$ sont égaux et de signes contraires à l, m, n, la première de ces intégrales est nulle. D'autre part $d\omega$ étant pris positivement pour la face vue du point (α, β, γ) et négativement pour la face cachée (§ 15), on a : $d\omega' = -d\omega$. Donc :

$$V = \frac{1}{4\pi} \int_{S'_1} (V - V') d\omega + K.$$

Il nous reste à calculer $V - V'$.

Soit M un point de la surface S'_1 et MNPM un chemin embrassant le tube T (la partie de ce chemin cachée par le diaphragme S'_1 est pointillée). Une surface S limitée au contour MNPM coupant une fois le tube T, est traversée par le flux de masse vectorielle I. Donc la chute de potentiel $V - V'$ le long de ce chemin sera :

$$V - V' = \int_{MNPM} - dV = \int_{MNPM} (X dx + Y dy + Z dz)$$
$$= 4\pi \int_S (l\mu_x + m\mu_y + n\mu_z) dS = 4\pi I.$$

Il en résulte, en désignant par ω l'angle solide sous lequel le contour CC de S'_1 est vu du point (α, β, γ) :

$$(25) \qquad V = \int_{S'_1} I d\omega + K = I\omega + K.$$

Les contours CC et MNPM ayant les sens positifs indiqués par les flèches, on voit que le point de départ du chemin MNPM appartient à la face positive de S'_1 et le point d'arrivée à la face négative. La relation :

$$(26) \qquad V - V' = 4\pi I,$$

indique donc que le potentiel uniforme de la région U croît brusquement de $4\pi I$ quand on passe d'un point M de la face négative du diaphragme S'_1 au même point de la face positive.

On vérifiera que le flux de masse vectorielle à travers la surface S est bien $4\pi I$ et non pas $-4\pi I$, en considérant qu'un mobile décrivant le contour CC traversera S en passant de la face négative à la face positive.

19. *Généralisation du potentiel uniforme dans le champ laplacien tout entier.* — Si le champ contient *n* tubes T de masse vectorielle (de section négligeable) au lieu d'un, on y rendra le potentiel uniforme au moyen de *n* diaphragmes.

Dans le cas général où le volume occupé par les masses vectorielles a des dimensions quelconques, nous supposerons d'abord que les lignes de flux soient des courbes fermées, et nous pourrons alors diviser ce volume en *n* tubes de flux de masse vectorielle fermés sur eux-mêmes, *n* étant pris assez grand pour que chaque tube ait des dimensions transversales négligeables. Dans ces conditions *n* diaphragmes suffiront pour que, dans la région des masses vectorielles aussi bien qu'à l'extérieur, on puisse admettre l'existence d'un potentiel s'accroissant toutefois, d'une manière discontinue, d'une quantité $+4\pi I$ chaque fois que l'on passe de la face négative à la face positive d'un diaphragme limité au contour d'un tube dont le flux de masse vectorielle est I. Ceci devient rigoureux lorsqu'on prend le nombre *n* infiniment grand, la section des tubes étant infiniment petite. La considération d'un potentiel uniforme, à l'aide de cet artifice, dans une région où le potentiel n'existe même pas, est très utile dans l'étude de certaines questions.

Lorsqu'une ligne de flux de masse vectorielle C est indéfinie ou a une forme très compliquée, il n'est pas facile de se représenter la forme du diaphragme limité

à cette ligne. Un moyen simple de construire ce diaphragme est d'imaginer un cône ayant pour sommet un point quelconque A et pour directrice la ligne C. La partie de la surface de ce cône comprise entre le sommet A et la ligne C sera le diaphragme; elle a une face positive et une face négative définies comme il a été dit au paragraphe 5. Si le cône se coupe une ou plusieurs fois, on pourra le décomposer en un certain nombre de cônes fermés dont aucun ne se coupe lui-même. Supposons par exemple que le cône ayant C pour directrice ait pour trace sur le plan de la figure (*fig.* 14) la courbe BCDEFGBHDKFLB; on pourra le décomposer en deux autres ayant respectivement pour traces les courbes BCDEFGB et BHDKFLB, qui n'ont plus de points doubles. Le premier de ces deux cônes est représenté en perspective; son contour se compose de la courbe *bcdefgb'*, qui appartient à la ligne de flux de masse vectorielle C et du segment de génératrice *b'b*; ce segment appartient également au second cône sur lequel il a la direction opposée *bb'*. Sur le cône en perspective, la face extérieure vue est la face positive du diaphragme.

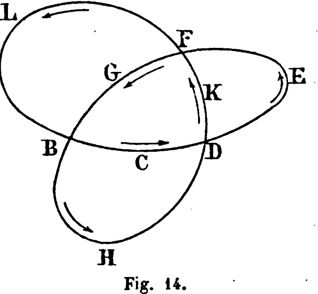


Fig. 14.

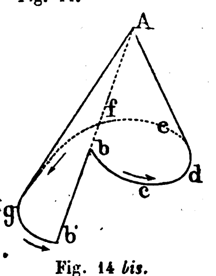


Fig. 14 *bis*.

SYSTÈMES ÉQUIVALENTS DE MASSES ET DE MASSES VECTORIELLES.

20. *Propriété générale de l'équivalence.* — Considérons un champ complet, dont le volume U est limité par une surface S. Divisons ce volume en deux parties U_1 et U_2. On a en tout point A du champ l'identité (15) du paragraphe 8 :

$$\overline{f} = \sum_u \frac{\overline{m}}{r^2} + \sum_u \frac{\overline{m_v \sin\theta}}{r^2}, \tag{27}$$

les m désignant les masses, et les $\overline{m_v}$ les masses vectorielles répandues dans le champ U tout entier.

Imaginons un deuxième champ identique au précédent dans la région U_1 et en différant d'une manière quelconque dans la région U_2. En tout point A de la région (U_1) $\overline{f}$ ne sera pas changé ; le changement portera seulement sur la partie du second membre de l'équation (27) relative au volume U_2 (et à la surface de séparation S_1 de U_1 et U_2 si l'on y introduit des discontinuités) ; cette partie :

$$\sum_{u_2} \frac{\overline{m}}{r^2} + \sum_{u_2} \frac{\overline{m_v \sin\theta}}{r^2},$$

sera changée en :

$$\sum_{u_2} \frac{\overline{m'}}{r^2} + \sum_{u_2} \frac{\overline{m'_v \sin\theta}}{r^2},$$

m' et $\overline{m'_v}$ désignant les nouvelles masses et masses vectorielles. La formule (27) restant exacte, on en conclut, *quel que soit le changement ainsi effectué :*

$$\sum_{u_2} \frac{\overline{m}}{r^2} + \sum_{u_2} \frac{\overline{m_v \sin\theta}}{r^2} = \sum_{u_2} \frac{\overline{m'}}{r^2} + \sum_{u_2} \frac{\overline{m'_v \sin\theta}}{r^2}. \tag{28}$$

Si le vecteur $\overline{f}$ représentait une force et que l'on attribuât l'existence de cette force en A à des actions réelles exercées à distance : par les masses m suivant la loi de Newton, et par les masses vectorielles $\overline{m_v}$ suivant la loi de Laplace, on énoncerait ce résultat en disant que, *au point de vue de leur action sur un point quelconque* A *de la région* U_1, *les deux distributions de masses et de masses vectorielles de la région* U_2 *dans les deux champs considérés successivement sont équivalentes.*

On remarquera en passant que ces deux distributions ne sont pas équivalentes au point de vue de leur action sur un point de la région U_2, puisque les deux champs considérés dans cette région sont différents.

21. *Cas particuliers.* — Supposons que toutes les masses vectorielles du champ primitif soient dans la région U_2 seulement. Dans la région U_1 il y aura un potentiel uniforme (la surface de séparation S_1 comprenant des diaphragmes s'il est nécessaire). Ceci étant, modifions ce champ dans la région U_2 en y prolongeant suivant une loi arbitraire les surfaces équipotentielles de la région U_1 ; la seule condition à remplir est que la surface limite du champ U soit équipotentielle. Le nouveau champ obtenu dans U_2 admettra par là même un potentiel uniforme; de telle sorte que le champ U tout entier aura un potentiel uniforme et sera devenu un champ newtonien. Dans cette modification du champ les masses vectorielles $\overline{m'_v}$ n'existant pas, la formule (28) devient :

$$\sum_{u_2} \frac{\overline{m}}{r^2} + \sum_{u_2} \frac{\overline{m_v \sin \theta}}{r^2} = \sum_{u_2} \frac{\overline{m'}}{r^2}.$$

Elle montre qu'*une distribution quelconque de masses*

vectorielles $\overline{\mathrm{m}}_v$ *est équivalente, au point de vue de leur action dans la région extérieure au volume qui les contient, à une distribution de masses.* En particulier un champ laplacien est identique à un champ newtonien dans la région extérieure aux masses vectorielles, et ce résultat peut être obtenu d'une infinité de manières différentes, puisqu'on dispose arbitrairement du tracé des surfaces équipotentielles dans la région U_2. (Cette propriété se traduira en électro-magnétisme par l'équivalence des courants et des aimants.)

De même si toutes les masses m du champ primitif, dont la somme est nulle (§ 10), sont contenues dans la région U_2, on peut transformer le champ U tout entier en champ laplacien en prolongeant suivant une loi arbitraire dans la région U_2 les tubes de flux de la région U_1; la seule condition à remplir est que les tubes soient tangents à la surface limite du champ. On peut, par exemple, fermer les tubes sur eux-mêmes. Dans chaque tube, le vecteur f en chaque point sera tangent à la ligne de flux tracée et aura une grandeur telle que le flux à travers le tube reste constant. On peut énoncer le résultat ainsi obtenu en disant qu'*une distribution quelconque de masses, dont la somme est nulle, est équivalente à une distribution de masses vectorielles, au point de vue de leur action dans la région extérieure au volume qui les contient*, et cela d'une infinité de manières différentes.

Une autre application importante de la formule (28) consistera à modifier le champ primitif dans U_2 en le supprimant, c'est-à-dire en faisant $f=0$ partout à l'extérieur de U_1. On crée ainsi une discontinuité du vecteur f sur la surface S_1 et, par suite, une distribution superficielle de masses et de masses vectorielles.

La formule (28) prend alors la forme :

$$\sum_{u_2} \frac{\overline{m}}{r^2} + \sum_{u_2} \frac{\overline{m_v \sin \theta}}{r^2} = \sum_{S_1} \frac{\overline{m'}}{r^2} + \sum_{S_1} \frac{\overline{m'_v \sin \theta}}{r^2},$$

et s'exprime en disant que *toute distribution de masses et de masses vectorielles extérieure au volume* U_1 *est équivalente, au point de vue de son action à l'intérieur de* U_1, *à une certaine distribution de masses et de masses vectorielles sur la surface* S_1. Cette distribution superficielle équivalente est déterminée et non plus arbitraire ; car elle est définie par les équations (16) et (17) du paragraphe 9 ; qui se réduisent à :

$$(29) \qquad \begin{cases} 4\pi\sigma = f_n, \\ 4\pi\overline{\tau} = (\overline{f}, \overline{N}), \end{cases}$$

$\overline{f}$ désignant le vecteur en un point de la surface S_1, f_n sa projection sur la normale à S_1 dirigée vers l'intérieur de U_1, et $(\overline{f}, \overline{N})$ l'axe du vecteur $\overline{f}$ et du vecteur $\overline{N} = 1$ ayant la direction de cette normale.

22. *Principe des solénoïdes.* — Appliquons ce dernier théorème au cas où l'on a, dans toute la région U_1

$$\rho = 0, \quad \mu = 0,$$

c'est-à-dire au cas où il y a un potentiel V satisfaisant à la condition :

$$\Delta V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0.$$

Alors il n'y a de masses et de masses vectorielles que sur la surface S_1, et l'on a : 1° en tout point de la région U_1 :

$$\overline{f} = \sum_{S_1} \frac{\overline{m'}}{r^2} + \sum_{S_1} \frac{\overline{m'_v \sin \theta}}{r^2};$$

2° en tout point extérieur à S_1, puisque le champ y est

supprimé :

$$0 = \sum_{S_1} \frac{\overline{m'}}{r^2} + \sum_{S_1} \frac{\overline{m'_v \sin \theta}}{r^2}.$$

La couche superficielle de masses vectorielles $\overline{m'_v}$ (définie par la seconde équation 29) *est donc équivalente au point de vue de la région extérieure à* S_1, *à la couche superficielle de masses* m (définie par la première équation 29) *changée de signe.*

Lorsque la surface S_1 est la surface S′S′ d'un tube de flux, on lui donne le nom de *solénoïde*. Supposons d'abord le tube limité par deux bases S″ et S‴ équipotentielles (*fig.* 15). En tout point de S′, la composante normale f_n du vecteur f est nulle; donc sur S′ on n'aura que des masses vectorielles. En tout point de S″ et S‴, au contraire, f est normal à la surface, et c'est sa composante tangentielle qui est nulle; donc, sur ces deux bases, il n'y aura que des masses. Les masses vectorielles sur S′, supposées seules, créeraient un champ laplacien; les masses sur S″ et S‴, changées de signe et supposées seules, créeraient un champ newtonien. D'après ce qui a été dit ci-dessus, *ce champ newtonien et ce champ laplacien sont identiques dans tout l'espace extérieur au tube considéré, mais nullement à l'intérieur du tube.* C'est là la propriété fondamentale des solénoïdes (étudiés en électro-magnétisme). — Lorsque le tube est fermé sur lui-même, les bases S″ et S‴ et les masses disparaissent; le champ laplacien dû aux masses vectorielles réparties sur S′ est rigoureusement limité à l'intérieur du solénoïde.

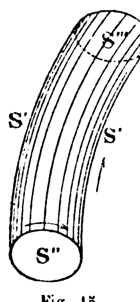


Fig. 15.

Dans le cas de la *fig.* 15, en chaque point de la base S″ (entrée du tube), la densité superficielle de masse a pour expression $\sigma = \frac{f_n}{4\pi} = \frac{f}{4\pi}$: elle est positive. En chaque point de S‴ $\sigma = \frac{f_n}{4\pi} = -\frac{f}{4\pi}$: la couche est négative. La couche équivalente aux masses vectorielles de S′ sera donc, au contraire, négative sur S″ et positive sur S‴.

Quant à la densité superficielle $\bar{\tau}$ de masse vectorielle sur S′, la seconde formule (29) montre qu'elle est, en chaque point : 1° tangente à la surface ; 2° perpendiculaire au vecteur $\bar{f}$ et, par suite, à sa composante tangentielle $\bar{f}_t$; 3° égale à $\frac{f_t}{4\pi}$. Comme f est normal à la surface équipotentielle au point considéré, $\bar{\tau}$ est tangent à cette surface, c'est-à-dire que les lignes de flux de masse vectorielle sur S′ coïncident avec les lignes équipotentielles du champ. Quel est le flux de masse vectorielle dI à travers un arc de courbe infiniment petit ds tracé sur S′ normalement aux lignes équipotentielles? Cet arc étant aussi normal au vecteur $\bar{\tau}$, le flux de masse vectorielle dI est égal à $\tau ds = \frac{1}{4\pi} f_t ds$. Mais $f_t ds$ est la chute de potentiel $-d$V le long de l'arc ds, puisque ds a la direction de la composante tangentielle $\bar{f}_t$ du vecteur $\bar{f}$. Ce flux est donc constant quel que soit l'arc ds pris entre les courbes équipotentielles V et V $+ d$V, comme on devait s'y attendre en vertu d'une propriété connue des tubes de flux de masses vectorielles (§ 23), car la bande comprise entre les deux courbes équipotentielles sur la surface S′ est un tube de flux de masse vectorielle infiniment aplati

(§ 13). De la formule :

$$dI = -\frac{1}{4\pi}dV,$$

on déduit pour le flux total I sur la surface S′ entre les bases S″ et S‴ (aux potentiels V″ et V‴) :

$$I = \frac{V'' - V'''}{4\pi}.$$

Le sens du flux le long de la ligne équipotentielle V″ est indiqué par une flèche; on le vérifiera facilement.

Lorsque le solénoïde a une longueur infiniment petite, les masses réparties sur les bases S″ et S‴ constituent un *feuillet* équivalent, au signe près, au tube (infiniment aplati) de masses vectorielles qui en décrit le contour.

23. *Création d'un champ newtonien.* — Soit $V(x, y, z)$ une fonction uniforme de x, y, z. L'espace U compris entre les deux surfaces :

$$V(x, y, z) = V_1 \quad \text{et} \quad V(x, y, z) = V_2,$$

peut être considéré comme un champ newtonien complet admettant un potentiel uniforme V et limité par deux surfaces équipotentielles V_1 et V_2. Le vecteur f en chaque point du champ sera défini par ses composantes :

$$X = -\frac{\partial V}{\partial x}, \quad Y = -\frac{\partial V}{\partial y}, \quad Z = -\frac{\partial V}{\partial z}.$$

La distribution des masses dans le volume U est définie par la formule du paragraphe 16 :

$$4\pi\rho = -\Delta V.$$

On aura en outre une distribution superficielle de masses sur les surfaces limites V_1 et V_2, à cause de la discontinuité qui y existe, f étant nul à l'extérieur. La densité

superficielle de ces masses est égale à :

$$\sigma = \frac{f_n}{4\pi} = -\frac{1}{4\pi}\frac{\partial V}{\partial n}.$$

On peut ainsi créer une infinité de champs newtoniens en choisissant une fonction uniforme quelconque $V(x, y, z)$. Mais le cas le plus important en électricité est celui où les masses sont réparties seulement sur la surface limite, c'est-à-dire où l'on a en tout point du volume U :

$$4\pi\rho = -\Delta V = 0.$$

Pour réaliser un tel champ, il faut donc choisir une intégrale de l'équation aux dérivées partielles : $\Delta V = 0$. On ne connaît pas l'intégrale générale de cette équation; mais on en connaît un certain nombre d'intégrales particulières.

La fonction : $V = \frac{1}{r}$, où r désigne la distance du point (x, y, z) à un point fixe (α, β, γ), satisfait à $\Delta V = 0$: car on trouve identiquement, pour tout point autre que le point (α, β, γ),

$$\frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\left(\frac{1}{r}\right)}{\partial z^2} = 0.$$

Les surfaces équipotentielles du champ correspondant ont pour équation $r =$ constante : ce sont des sphères concentriques. Les lignes de flux sont les rayons de ces sphères et en un point (x, y, z) on a : $f = \frac{1}{r^2}$. Le champ est dit *sphérique;* il est dû à une masse égale à 1 placée au point (α, β, γ). — Si l'on considère un champ complet compris entre les sphères de rayons R_1 et R_2 $(R_1 < R_2)$, la densité superficielle de masse sera uni-

forme et égale à $\frac{f_1}{4\pi} = \frac{1}{4\pi R_1^2}$ sur la sphère (R_1) et à $\frac{-f_2}{4\pi} = -\frac{1}{4\pi R_2^2}$ sur la sphère (R_2). Bien entendu, ce n'est là qu'une manière conventionnelle de dire que le vecteur f éprouve une discontinuité f_1 sur la sphère R_1 et $-f_2$ sur la sphère R_2.

Considérons encore le champ *ellipsoïdal* compris entre les deux ellipsoïdes homofocaux :

$$\frac{x^2}{a^2+\lambda_1} + \frac{y^2}{b^2+\lambda_1} + \frac{z^2}{\lambda_1} = 1,$$
$$\frac{x^2}{a^2+\lambda_2} + \frac{y^2}{b^2+\lambda_2} + \frac{z^2}{\lambda_2} = 1,$$

λ_1 et λ_2 étant des nombres positifs, et prenons comme surfaces équipotentielles les ellipsoïdes homofocaux intermédiaires représentés par l'équation :

$$\frac{x^2}{a^2+\lambda} + \frac{y^2}{b^2+\lambda} + \frac{z^2}{\lambda} = 1,$$

λ variant de λ_1 à λ_2. Le potentiel V peut être une fonction quelconque de λ. Mais en exprimant V en fonction de λ, on voit que l'équation $\Delta V = 0$ ne peut être satisfaite que si l'on prend :

$$V = A\int_0^{\lambda} \frac{d\lambda}{\sqrt{(a^2+\lambda)(b^2+\lambda)\lambda}} + B,$$

A et B désignant deux constantes arbitraires. Cette équation détermine complètement la nature du champ.

La fonction : $V = A\,\mathcal{L}(r) + B$, — où r désigne la distance du point (x, y, z) à une droite fixe D, $\mathcal{L}$ le symbole des logarithmes népériens, A et B deux constantes, — est le potentiel d'un champ *cylindrique*. Les surfaces équipotentielles ($r =$ constante) sont en effet des cylindres ayant D pour axe, et les lignes de flux sont les

rayons de ces cylindres; la valeur du vecteur f est : $f = -\frac{\partial V}{\partial r} = -\frac{A}{r}\cdot$ On peut limiter le champ newtonien entre deux cylindres de rayons R_1 et R_2; mais il aura encore une étendue infinie. Aussi la réalisation pratique d'un tel champ ne peut être qu'approximative.

A part cette dernière réserve, on sait créer de tels champs en électrostatique (où f désigne l'intensité du champ électrique), le champ jouissant de la propriété : $\Delta V = 0$. *Il suffit à cet effet de réaliser les surfaces limites* V_1 *et* V_2 *de manière à y créer la discontinuité voulue* ($f = 0$ à l'extérieur du champ); on n'a pour cela qu'à limiter le champ par des conducteurs dont les surfaces ont la forme des surfaces V_1 et V_2 calculées à l'avance, et l'on sait que la condition $f = 0$, dans ces conducteurs, est remplie d'elle-même.

24. *Création d'un champ laplacien.* — Soient v_x, v_y, v_z trois fonctions uniformes de x, y, z. Le champ du vecteur f ayant pour composantes :

$$X = \frac{\partial v_y}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial y}, \quad Y = \frac{\partial v_z}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial z}, \quad Z = \frac{\partial v_x}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial x},$$

sera un champ laplacien, puisqu'il satisfait à la condition solénoïdale :

$$4\pi\rho = \frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial X}{\partial z} = 0.$$

On peut prendre dans ce champ un tube de flux et le considérer comme un champ complet; la discontinuité de f ainsi créée sur la surface de ce tube y détermine une distribution superficielle de masses vectorielles suivant une loi que nous connaissons (§ 22). Toutefois, la réalisation d'un tel champ n'est pratique

que si le tube, au lieu de se prolonger indéfiniment, est fermé sur lui-même. En outre, les cas les plus utiles sont ceux où le champ admet un potentiel à l'intérieur du tube : $\mu = 0$. Il faut donc choisir convenablement les fonctions v_x, v_y, v_z et l'on est encore conduit à prendre des intégrales de l'équation $\Delta v = 0$, ou des champs à potentiel non uniforme.

Tel est le cas du champ cité au paragraphe 25 :

$$V = \operatorname{arc\,tg} \frac{y}{x},$$

$$X = \frac{y}{x^2+y^2}, \quad Y = -\frac{x}{x^2+y^2}, \quad Z = 0 \quad \left(\text{d'où } f = \frac{1}{r} = \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2}}\right).$$

Les lignes de flux étant des circonférences ayant pour axe l'axe des z, on pourra prendre pour champ complet un tube quelconque de révolution autour de cet axe, par exemple un tore. La densité superficielle τ de masse vectorielle, qui doit être créée à la surface du tube pour produire le champ en question, se calculera très simplement par la règle donnée au paragraphe 22 $\left(\tau = \frac{1}{4\pi r}\right)$. On sait réaliser de tels solénoïdes en électro-magnétisme, où le flux de masse vectorielle magnétique est l'intensité d'un courant électrique.

25. *Généralité de la théorie du champ d'un vecteur.* — D'après tout ce qui précède, et notamment ce qui a été dit au paragraphe 8, on conçoit que l'on pourrait *expliquer* les phénomènes physiques les plus divers par des actions en raison inverse du carré de la distance, suivant la loi de Newton et la loi de Laplace. Mais on comprend en même temps qu'il ne s'agit pas là d'une véritable explication des phénomènes; *ces lois*

d'actions en raison inverse du carré de la distance (loi de Coulomb en électrostatique, loi de Laplace en électro-magnétisme, etc.) *ne doivent point être considérées comme des lois physiques*, car elles résultent d'une pure identité *mathématique* (formule 15) indépendante de toute connaissance des véritables lois physiques. Pour mieux faire ressortir cette vérité qui n'est pas douteuse, avant d'aborder l'étude de l'électricité, nous allons citer quelques exemples relatifs à d'autres branches de la physique ou de la mécanique.

Chaleur. — Un corps homogène U à température variable V peut être considéré comme un champ admettant un potentiel uniforme V. Le vecteur $f = -\frac{\partial V}{\partial n}$ (§ 16) est, en chaque point (x, y, z), normal à la surface isotherme ou équipotentielle, et représente *le flux de chaleur par unité de surface* (isotherme) en prenant la conductibilité égale à 1. Si la surface S du corps est équipotentielle, le champ est newtonien, et l'identité

$$\bar{f} = \sum \frac{\overline{m}}{r^2},$$

exprime que le flux de chaleur $\bar{f}$ est identique à celui qui résulterait de l'action de *masses calorifiques*, réparties dans le volume U et sur S, envoyant au point (x, y, z) en ligne droite des quantités de chaleur $\frac{m}{r^2}$ proportionnelles à ces masses et à l'inverse du carré de la distance. L'action des masses distribuées sur S remplace les envois de chaleur venant de l'extérieur. Quant à la masse calorifique m existant dans une parcelle quelconque du corps, elle est égale, au facteur 4π près, à la quantité de chaleur rayonnée par cette

parcelle dans l'unité de temps. Si la surface S n'était pas isotherme, elle contiendrait en outre des *masses vectorielles calorifiques*.

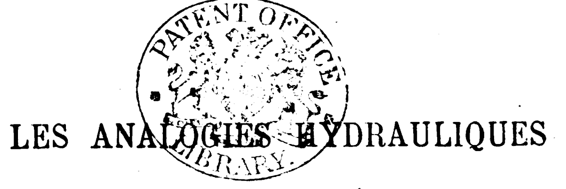
Hydraulique. — Si le vecteur f représente la vitesse des divers points d'un liquide en mouvement remplissant un vase clos, en supposant ce liquide incompressible, c'est-à-dire : $\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} = 0$, le champ de ce vecteur est laplacien. L'identité

$$\bar{f} = \sum \overline{\frac{m_v \sin \theta}{r^2}},$$

exprime que la vitesse f de chaque molécule du liquide est identique à la résultante des vitesses $\overline{\frac{m_v \sin \theta}{r^2}}$ que lui imprimeraient des masses vectorielles $\overline{m_v}$, réparties dans le champ et à sa surface, et agissant suivant la loi de Laplace. La densité $\bar{\mu}$ de ces masses vectorielles aux divers points a une signification très simple en mécanique ; mais nous n'insisterons pas là-dessus.

Gravitation universelle. — L'accélération qu'éprouve un corps céleste en un point quelconque de l'espace a pour expression : $\bar{f} = \Sigma \frac{\overline{m}}{r^2}$ d'après la loi de la gravitation universelle due à Newton. Ici il n'y a pas de masses vectorielles, c'est-à-dire que le champ de la gravitation universelle admet un potentiel uniforme. Quant aux masses de ce champ, ce sont les masses *pondérables* des autres corps.

A. Vaschy.



LES ANALOGIES HYDRAULIQUES

COMME MODE DE COMPRÉHENSION

DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES (*)

(Suite et fin).

III. Courant alternatif.

Passons à l'étude de quelques-uns des phénomènes que présente le courant alternatif.

La première chose à faire, c'est de figurer une force électromotrice alternative.

En conservant notre assimilation des différences de potentiel aux différences de niveau, nous serons amenés à employer dans ce but un vase A (*fig.* 9) rempli de liquide, se déplaçant suivant une verticale alternativement de bas en haut et de haut en bas, symétriquement par rapport à un plan horizontal P, que nous pourrons prendre comme origine des différences de niveau, en comptant comme positives les différences de niveau existant lorsque A sera au-dessus de P, comme négatives, celles qui correspondront aux positions de A au-dessous de P. Si en outre nous voulons que les diffé-

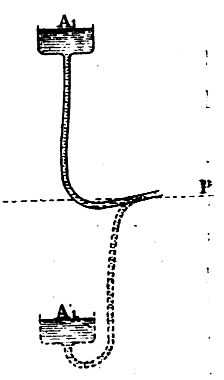


Fig. 9. — Représentation d'une force électrometrice alternative.

(*) *La Lumière électrique*, tome LI, p. 11.

rences de niveau, de même que les forces électromotrices fournies par les alternateurs industriels, suivent dans le temps une loi suffisamment rapprochée de la loi sinusoïdale, il nous suffira de suspendre A à un ressort dont la longueur dépendra de la grandeur du temps périodique que nous voudrons obtenir.

Force électromotrice alternative agissant sur une résistance sans self-induction. — Examinons d'abord le cas où ce vase est relié à un autre vaste ouvert B (*fig.* 10), dont le niveau correspond au plan P, par un tuyau flexible, de faible longueur et de très faible section. Ce tuyau, d'après des considérations précédentes, correspond à un conducteur présentant une grande résistance et une faible self-induction ; pour simplifier, négligeons complètement l'inertie.

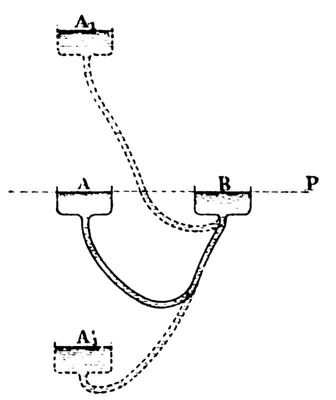


Fig. 10. — Résistance sur force électromotrice alternative.

Supposons que les deux vases A et B étant d'abord au même niveau, on élève le vase A. Par suite de la différence de niveau croissante qui est créée entre A et B, le liquide se met aussitôt en mouvement, il y a production d'un courant qui va, dans le tuyau, de A vers B et qui est d'autant plus intense à chaque moment que la différence de niveau à ce moment est plus grande. Comme nous supposons qu'il n'y a pas d'inertie, le courant prend exactement à chaque instant la valeur qu'il aurait si la différence de niveau à cet instant conservait indéfiniment la même valeur. Le maxi-

mum d'intensité de courant correspond donc nécessairement au point A_1, où le vase est arrivé à la partie supérieure de sa course.

Réciproquement, lorsque le vase A descendra, la différence de niveau diminuant, le courant de A vers B ira aussi en diminuant jusqu'au moment où il s'annulera, le vase A étant revenu au point de départ. Pendant la seconde partie de la *période*, en désignant ainsi l'oscillation complète, partie pendant laquelle A descendra au-dessous du plan de niveau jusqu'au point A'_1 symétrique de A_1 par rapport à P, puis reviendra à son point de départ, les choses se passeront d'une manière tout à fait identique, mais inverse, le courant allant maintenant de B vers A et pouvant être considéré comme négatif, atteignant son maximum pour la position A'_1 et s'annulant de nouveau en A.

Donc, quand l'inertie est négligeable, l'intensité du courant liquide suit exactement les variations de la différence de niveau, est maxima, s'annule et change de signe en même temps qu'elle : en d'autres termes, la différence de niveau et l'intensité du courant sont en *concordance de phase*. De plus, dès que nous faisons agir une différence de niveau alternative, en partant d'une valeur initiale quelconque, le liquide prend immédiatement le régime qui convient à cette différence de niveau, de sorte qu'*il n'y a pas* de période d'établissement de régime.

Le cas que nous venons de considérer correspond électriquement au cas d'une force électromotrice alternative agissant sur une résistance dénuée de self-induction et nous en concluons que, dans ce cas, l'intensité du courant est en *concordance de phase* avec la force électromotrice, que sa valeur instantanée I_t est

égale au quotient de la valeur instantanée de la force électromotrice E_t par la résistance ohmique $\mathcal{R}$ du circuit, qu'enfin, lorsqu'on place cette résistance sur la force électromotrice, le courant prend immédiatement sa valeur normale sans passer par une période variable d'établissement.

Force électromotrice agissant sur un circuit présentant de la résistance et de la self-induction. — Faisons maintenant intervenir l'inertie, que nous n'avons pu d'ailleurs éliminer qu'au point de vue théorique. Supposons pour cela que le tuyau reliant A à B soit gros et long. Élevons A (*fig.* 11). En vertu de son inertie, le mouvement du liquide ne suit plus exactement le mouvement ascensionnel de A : si nous considérons une position quelconque de A pendant la montée, soit A_2, le liquide n'a pas encore eu le temps de prendre la vitesse qui correspondrait à cette position supposée fixe, c'est-à-dire que le courant est *en retard* sur la différence de niveau et ce retard est d'autant plus grand que la rapidité du mouvement ascensionnel est plus grande. En particulier, lorsque A est arrivé au sommet de sa course, en A_1, le liquide n'a encore acquis que la vitesse correspondant à une position notablement inférieure, A_3, par exemple. Donc, lorsque le vase A va effectuer son mouvement de descente, quoique la différence de niveau diminue, le courant

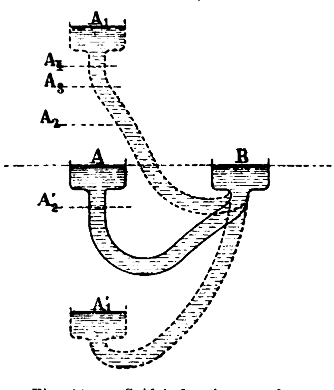


Fig. 11. — Self-induction sur force électromotrice alternative.

n'en continuera pas moins à augmenter jusqu'en un certain point A_4 compris entre A_3 et A_1, dont le niveau correspondra précisément à celui qui, supposé fixe, produirait le courant existant en ce moment. A partir de ce moment le courant ne pourra plus que diminuer, de sorte que A_4 correspond au maximum du courant et que ce maximum, au lieu de se produire en même temps que celui de la différence de niveau, est *en retard*.

Poursuivons : le vase continuant à descendre atteint le niveau A. A ce moment, le liquide est encore animé d'un mouvement assez rapide de A vers B, puisque jusque-là, il existait une différence de niveau positive. En vertu de son inertie, et quoique la différence du niveau devienne négative à partir de ce moment, il continue donc à aller de A vers B et le courant ne s'annule qu'*après* le passage en A.

Pour la deuxième partie de la période, les choses ne se passeront plus tout à fait de la même façon que pour la première, puisque le courant, au lieu d'être nul en A comme pour la première partie, ne s'annule que lorsque cette seconde partie de l'oscillation est déjà commencée. On conçoit que la conséquence de ce retard est, pour une position quelconque A'_2, une intensité plus faible en valeur absolue que pour la position symétrique A_2 dans la course ascendante, en d'autres termes, le retard du courant sur la différence de niveau est augmenté. Cette augmentation du retard continuera encore pendant quelques oscillations pour atteindre, si les oscillations suivent toujours la même loi, une valeur, un décalage bien déterminé lorsque la période d'établissement de régime sera terminée.

Nous pouvons donc conclure de ce qui précède que quand l'inertie intervient :

1° L'intensité, au lieu de prendre à chaque instant la valeur déterminée par la différence de niveau existant à cet instant possède toujours une valeur *plus petite.* L'inertie semble donc *augmenter* la résistance opposée au passage du liquide, d'autant plus que la masse est plus grande, et cela non seulement pendant une période d'établissement très courte, comme nous l'avons vu quand il s'agissait d'une différence de niveau constante, mais d'une manière permanente. Il faut remarquer cependant que ce n'est là qu'une augmentation *apparente* de la résistance, attendu que les frottements à vitesse égale ne sont pas augmentés.

2° Le courant est toujours *en retard* sur la différence de niveau, c'est-à-dire que le maximum de la différence de niveau et celui de l'intensité de courant ne se produisent plus en même temps, non plus que leur annulation; il y a entre eux une certaine *différence de phase*, ou, comme on dit aussi, l'intensité de courant est *décalée en arrière* sur la différence de niveau.

3° L'établissement du régime normal n'est pas instantané : il est précédé d'une période variable dans laquelle le décalage et l'intensité prennent petit à petit leur valeur normale.

Il nous serait en outre facile de nous rendre compte que l'augmentation apparente de la résistance opposée au passage du liquide et que le décalage sont d'autant plus grands que la rapidité des oscillations de A, c'est-à-dire la *fréquence*, est plus grande.

Cependant ce retard du courant sur la différence de niveau n'augmente pas indéfiniment avec la rapidité du mouvement oscillatoire et avec la diminution du frottement. Selon les conditions de l'expérience, le décalage peut s'approcher autant qu'on le voudra d'un

quart de période, mais il ne saurait en aucun cas dépasser cette limite. Quelques explications rendront compte de ce fait, *a priori* peu évident, mais sur lequel il importe d'insister.

Supposons que le tuyau qui réunit A et B soit de très grande section, de telle sorte que nous puissions négliger d'une façon absolue sa résistance et disposer d'une très grande inertie, il suffira alors, en faisant abstraction des phénomènes de capilarité, d'une différence de niveau aussi petite que nous le voudrons pour obtenir une intensité très grande (grande non pas par la vitesse qui est $< \sqrt{2gh}$, mais par la grandeur de la section qui fait que le poids de liquide écoulé par unité de temps est très grand). D'après ce que nous avons vu précédemment, les conditions sont très favorables pour une différence de phases très grande entre le courant et la différence de niveau, puisque l'inertie est très grande et la résistance nulle. Supposons donc que ce retard soit à un moment donné exactement d'un quart de période, c'est-à-dire que le vase A étant arrivé à la partie inférieure de sa course, en A'_1 (*fig.* 11) le courant s'annule à ce moment alors que la différence de niveau est minima, et voyons si ce retard peut se maintenir aussi élevé, ou au contraire s'il ne continuera pas encore à augmenter.

Puisque le courant vient de s'annuler en A'_1, comme il existe à ce moment une différence de niveau négative, un courant de B vers A s'établit et augmente constamment d'intensité bien que le vase A remonte : mais l'inertie du liquide étant supposée très considérable, cette augmentation du courant n'est que très lente : aussi, quelque faible que soit devenue la différence de niveau entre A et B par suite de l'ascension

de A, le courant n'a pas encore eu le temps à ce moment de prendre la valeur considérable qu'il aurait pour une différence de niveau encore bien plus petite, mais supposée constante.

Le courant continue donc à croître dans ce cas *théorique* jusqu'à ce que la différence de niveau soit nulle. Mais il est impossible qu'il continue encore à augmenter lorsque le vase A a dépassé son point de départ, attendu que dès ce moment, le courant qui tend à s'établir est de sens inverse à celui qui existe et ce dernier ne peut alors que diminuer. L'intensité du courant est donc *maxima* quand la différence de niveau est *nulle*, et il y a entre ces deux grandeurs une différence de phase *d'un quart de période*.

Nous concevrons facilement maintenant, car il nous suffira d'appliquer textuellement les conclusions précédentes, que l'adjonction de la self-induction dans un circuit électrique alimenté par une force électromotrice alternative ait pour effet :

1° D'augmenter d'une manière *permanente* la résistance apparente du circuit, et cela d'autant plus que la fréquence et la self-induction sont plus grandes : $R_{eff.} = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$;

2° De supprimer la simultanéité entre les maxima et les annulations de la force électromotrice et de l'intensité, en produisant un *décalage en arrière* de l'intensité sur la force électromotrice, décalage qui est d'autant plus grand que la fréquence est plus grande, la self-induction plus grande et la résistance plus faible et a pour limite maxima un quart de période : $\text{tang}\,\varphi = \frac{\omega L}{R}$;

3° D'empêcher le régime normal de s'établir immé-

diatement à la mise en circuit de la self-induction sur la force électromotrice, et de faire précéder ce régime normal d'une période variable.

Force électromotrice alternative agissant sur un circuit constitué par une résistance et une capacité. — Les effets de la capacité peuvent s'expliquer par un raisonnement identique.

Conservons la représentation C (*fig.* 12) du conden-

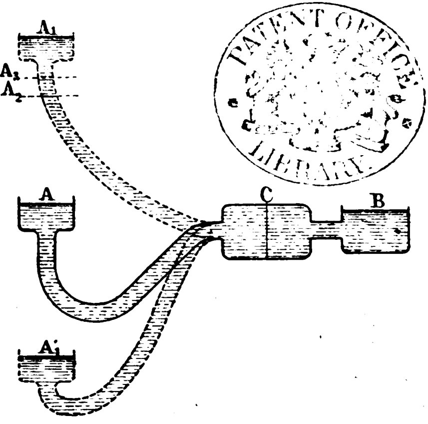


Fig. 12. — Capacité sur force électromotrice alternative.

sateur telle que nous l'avons imaginée précédemment et supposons que ce vase C soit relié à A par un tuyau flexible assez gros, mais court, dont nous pouvons négliger à la fois et la résistance au passage du liquide et l'inertie. Les deux vases étant au même niveau et au repos, élevons A. Par suite de la différence de niveau croissante qui est créée entre A et C, le liquide se met en mouvement et il y a production dans T d'un courant liquide qui va de A vers C et détermine la tension progressive de la membrane.

De plus, comme nous supposons les frottements et

l'inertie négligeables, la tension de la membrane suit presque exactement l'accroissement de la différence de niveau, et l'excès de la pression exercée par A sur la contre-pression dans C est toujours très faible ; comme c'est cet excès qui détermine le courant, celui-ci ne peut jamais acquérir une valeur bien considérable. Lorsque le vase A arrive vers la partie supérieure de sa course, son mouvement se ralentissant, il en est de même du courant dans T, et au sommet A_1 où la vitesse devient nulle, l'équilibre s'établit entre la tension et la différence de niveau, de sorte que le courant s'annule. Donc, dans ce cas, qui n'est d'ailleurs que théorique, le courant *s'annule* précisément au moment où la différence de niveau est *maxima*.

Continuons : Le vase s'abaissant, la contre-pression due à la tension de la membrane l'emporte sur la pression exercée par A, de sorte que bien que la différence de niveau soit toujours positive et même très voisine du maximum, le courant *change de signe*, allant maintenant de C vers A. Il continue ainsi jusqu'au point de départ A, où le mouvement de descente du vase est le plus rapide, puisque c'est le milieu de l'oscillation pendulaire : c'est donc à ce moment que la décompression de la membrane est le plus rapide, et le courant maximum. Le courant atteint donc son *maximum* négatif quand la force électromotrice n'en est encore *qu'à s'annuler*, il est encore *en avance* sur elle *d'un quart de période*.

En continuant à suivre le mouvement du vase A, nous verrons que cette avance d'un quart de période persistera indéfiniment.

Ceci est le cas théorique, qu'il était plus facile pour la compréhension d'étudier le premier, mais si, au lieu

d'un tube assez gros, on a un tube très fin, le gonflement de la membrane, gêné par la résistance, ne pourra plus s'effectuer aussi rapidement que le voudrait l'accroissement de niveau. En particulier, lorsque A sera au sommet de sa course, en A_1 (*fig.* 12), la tension de C ne sera que celle qui correspondrait à la position A_2, supposée fixe, cette position étant d'autant plus éloignée du sommet A_1 que le mouvement de A, c'est-à-dire que la fréquence sera plus rapide. Donc, lorsque le vase redescendra, le courant de liquide n'en continuera pas moins à comprimer la membrane et ne s'annulera que pour une position A_3 intermédiaire entre A_2 et A_1. Le courant ne sera donc plus comme dans le cas précédent exactement en avance d'un quart de période sur la différence de niveau et son avance sera *d'autant moindre* que la résistance du tuyau et la fréquence seront *plus grandes*.

Cet examen nous a montré en outre que ce réservoir C, qui, placé sur une différence de niveau constante, aurait, après la charge, opposé au passage du liquide une résistance *infinie*, ne se comporte pas de la même façon avec une différence de niveau alternative, puisque le tuyau T est le siège d'un courant alternatif ; seulement, ce courant est beaucoup moins intense que si C était supprimé, parce qu'il n'y a que la différence entre la pression et la contre-pression à chaque instant qui détermine le courant : C agit comme une résistance non plus infinie, mais d'*autant plus grande* que la surface du diaphragme est plus petite, c'est-à-dire que la capacité est *moindre*. On comprend très bien enfin que plus les oscillations de A sont rapides, et plus intense est le courant, parce que le gonflement du diaphragme a lieu en un temps plus

court, de sorte que cette résistance apparente offerte par la capacité C *diminue* avec la fréquence.

Appliquons les considérations précédentes :

1° Lorsqu'un condensateur est placé en série avec une résistance sur une force électromotrice alternative, le circuit est le siège d'un courant alternatif : le condensateur, au lieu de présenter une résistance infinie, comme avec une force électromotrice continue présente une résistance apparente relativement faible, d'autant plus faible d'ailleurs que la capacité et la fréquence sont plus grandes $R_{\text{eff.}} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$;

2° La simultanéité entre les maxima et les annulations de la force électromotrice et de l'intensité qui a lieu pour une résistance parfaite en circuit, n'existe plus quand en série avec cette résistance on place un condensateur. L'intensité est alors *en avance* sur la force électromotrice et cette avance, *ou décalage en avant* d'autant plus grande que la fréquence, la résistance et la capacité sont plus petites, a pour limite un quart de période : tang $\varphi = \frac{1}{\omega C R}$;

3° Lorsqu'on place un condensateur et une résistance en série sur une force électromotrice alternative, le courant ne prend pas immédiatement son régime normal, qui est précédé d'une période d'établissement. Dans l'assimilation précédente, nous avons vu en effet que lors du passage de A à son point de départ après la première oscillation, le courant ne présentait pas la même valeur qu'au commencement de cette première oscillation.

Nous avons donc retrouvé toutes les propriétés bien connues de la capacité.

Self-induction et capacité combinées sur une force électromotrice alternative. — Étant donnés ces résultats et ceux que nous avons obtenus pour le cas de la self-induction, on peut faire toutes les comparaisons accoutumées entre ces deux grandeurs, self-induction et capacité, et dès lors on est conduit à se poser cette question : comment un ensemble constitué par une self-induction en dérivation avec une capacité ou en tension avec elle se comportera-t-il, placé sur une force électromotrice alternative ? A cette question, les analogies hydrodynamiques permettent encore de répondre.

Force électromotrice alternative agissant sur un circuit comprenant une résistance, une self-induction et une capacité en série. Phénomènes de résonance. — Relions le vase A au vase à diaphragme T par un tuyau long et de grande section C (*fig.* 13) dans lequel l'inertie

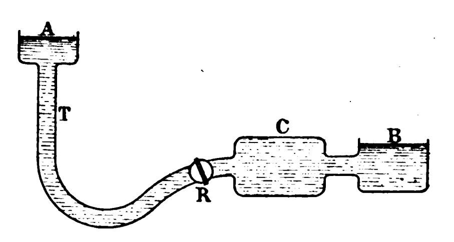


Fig. 13. — Self-induction et capacité en série. Résonance.

sera considérable et les frottements négligeables. Si nous supposons pour un instant que le vase A soit placé dans une position permanente et si nous établissons brusquement la communication entre A et C à l'aide du robinet R, nous savons, pour avoir étudié ce cas précédemment, qu'il s'établit dans le tuyau un courant *oscillatoire ;* que le temps périodique des oscillations est déterminé par les oscillations du système :

grandeur de la capacité C, grandeur de la masse liquide en mouvement, grandeur des frottements ; mais est indépendant de la différence de niveau de même que les grandes et petites oscillations d'un pendule sont isochrones : en d'autres termes, la période d'oscillation est en quelque sorte caractéristique du système A. T. C.

Aussi, lorsque à la position permanente du vase A je substitue une position variable avec le temps suivant une loi qui peut être sinusoïdale, mais qui peut aussi être quelconque, ces oscillations propres au système tendent encore à se produire avec leur période propre et se superposent au mouvement du liquide résultant de la variation du niveau de A.

Si le mouvement de A est pendulaire et si sa période est sensiblement égale à celle des oscillations dont nous venons de parler, le mouvement du liquide résultant du déplacement de A d'une part et les oscillations d'autre part se produisent *en concordance;* et, de même qu'une personne qui se balance augmente graduellement l'amplitude de ses oscillations en élevant et abaissant alternativement son centre de gravité en concordance avec le mouvement de la balançoire, de même l'amplitude du mouvement augmente-t-elle graduellement à chaque oscillation jusqu'à une certaine limite qui est atteinte lorsque l'énergie dépensée sous forme de frottement dans une oscillation est justement égale à l'énergie empruntée à la source de mouvement pendant cette oscillation. Or, nous supposons ici que les frottements sont nuls, c'est-à-dire que la résistance opposée au passage du liquide dans le tuyau est nulle et l'élasticité du diaphragme parfaite; ces oscillations croîtront donc en amplitude

au delà de toute limite, ce qui est encore le cas de la balançoire dans laquelle on est obligé, après un certain nombre d'oscillations, de modérer les déplacements du centre de gravité sous peine d'arriver à des oscillations dangereuses.

Ainsi, dans ce cas théorique où les frottements sont nuls, cas dont la viscosité du liquide, à défaut du frottement contre les parois, nous empêchera toujours d'approcher l'intensité du courant devient *infinie*, c'est-à-dire que la résistance apparente est *nulle*. Donc, pour une différence de niveau alternative, l'inertie *seule* augmente la résistance apparente, la capacité *seule* l'augmente encore, mais placées en série dans un rapport convenable, ces deux grandeurs *se neutralisent*. On peut voir de plus que la tension de la membrane va en croissant avec l'amplitude, et peut, au moment des annulations de courant, correspondre à des différences de niveau *infiniment* plus grandes que la différence de niveau maxima elle-même qui détermine le courant; quant au décalage du courant sur la différence de niveau, il est facile de voir ce qu'il en advient, en effet, par cela même que les oscillations se produisent en concordance avec le mouvement du vase A; lorsque celui-ci est, par exemple, à la partie supérieure de sa course, l'oscillation se fait de A vers C et présente à ce moment sa valeur maxima, ce qui revient à dire que le courant est maximum *en même temps* que la différence de niveau et que par conséquent le décalage est *nul*.

De même, si une self-induction et une capacité supposées parfaites, c'est-à-dire dénuées de résistance ohmique, sont placées sur une différence de potentiel alternative, à la condition d'être l'une par rapport à

l'autre dans la proportion convenable (cette proportion correspondant à la relation bien connue $\omega^2 LC = 1$), la résistance apparente du circuit est *nulle* (alors que la mesure au pont de Wheatstone donnerait l'infini), l'intensité qui traverse ce circuit est *infinie* et la différence de potentiel mesurée individuellement aux bornes de la capacité *ou* de la self-induction est *infinie;* enfin, le décalage de l'intensité sur la différence de potentiel est *nul.*

L'étude des cas plus complexes dans lesquels la self-induction, la capacité et la résistance sont quelconques, nécessiterait l'application de la théorie de la synchronisation que M. Cornu développait d'une manière si intéressante il y a peu de temps à la Société des Électriciens; aussi ne nous y arrêterons-nous pas.

Force électromotrice alternative agissant sur un circuit constitué par une self-induction et une capacité en dérivation. — La représentation hydrodynamique de ce cas est indiquée par la *fig.* 14 en supposant que

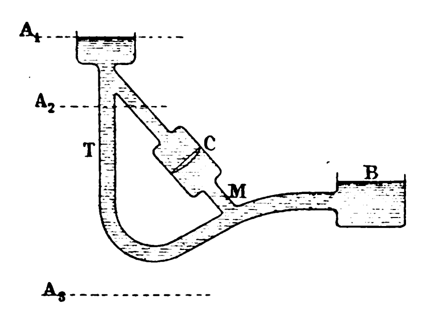


Fig. 14. — Self-induction et capacité en dérivation.

l'inertie de la branche C soit négligeable. Nous nous proposons de chercher quelle sera la valeur du courant au delà du point de jonction M des deux dérivations.

Ce cas est plus simple que le précédent, car chaque branche se comporte évidemment comme si elle était seule et peut être examinée séparément, ce qui rentre dans un cas déjà étudié; il suffit alors de déterminer la résultante des deux actions. Considérons le cas dont nous avons reconnu la possibilité, au point de vue théorique, où, dans la branche T, le décalage *en arrière* de l'intensité sur la différence de niveau atteint un quart de période, et supposons aussi que dans la branche C, le décalage *en avant* soit égal à un quart de période.

D'après cette hypothèse, lorsque, après un certain nombre d'oscillations de A supposées suivre la loi sinusoïdale et destinées à établir le régime permanent, le vase A est à la partie supérieure A_1 de sa course, le courant dans T est nul, et le courant dans C également, mais la compression du diaphragme de C est maxima; le courant de liquide au delà de M est donc également nul à cet instant. Le vase A commençant à descendre, c'est alors, nous le savons, que le liquide de T se met en mouvement de A vers O; mais à ce moment aussi, par suite de la décompression du diaphragme, un courant ascendant se produit dans C, qui *aspire* le liquide du tuyau T. Le courant au delà de la jonction est donc la *différence* des courants dans C et dans T. Si T l'emporte, le courant ira de A vers O et sera positif; si C est prépondérant, le courant résultant sera au contraire négatif.

Enfin, il pourra arriver que les actions de C et de T soient égales; dans ce cas, tout le liquide qui s'écoulera dans T de A vers O sera aspiré par C, et le courant résultant sera *nul;* et si cette relation entre les actions de C et de T est satisfaite pour une position A_2

du vase, on conçoit qu'elle pourra l'être pour toute autre position A_8, car nous savons que les courants dans T et dans C varient, au signe près, suivant la même loi. Ainsi, à un instant quelconque, le courant dans T sera égal et de sens contraire au courant dans C. Le courant résultant au delà de M sera donc toujours nul, c'est-à-dire que la résistance *apparente* opposée au passage du liquide par l'ensemble B, T est *infinie*.

Sur une différence de niveau constante, au contraire, la résistance serait évidemment nulle par suite du chemin, supposé sans résistance, qu'offre T, et l'intensité serait infinie : la neutralisation de l'inertie par la capacité ne se fera donc que pour des oscillations de A d'une période bien déterminée. Si ces oscillations sont trop lentes, le courant dans la branche T sera prépondérant; si elles sont trop rapides, ce courant dans T sera faible et le courant dû à la branche C l'emportera.

De même, lorsqu'une force électromotrice sinusoïdale agit sur un circuit constitué par une self-induction et une capacité supposées parfaites montées en dérivation, le courant résultant est égal à la *différence* des intensités correspondant à chacune des deux dérivations, parce qu'à un instant quelconque ces intensités sont *de signes contraires*. Si de plus la relation entre la capacité, la self-induction et la fréquence est telle que $\omega^2 LC = 1$, non seulement ces intensités sont de signes contraires, mais encore elles sont égales en valeur absolue, de sorte que l'intensité résultante est *nulle* et la résistance apparente *infinie*.

J'arrêterai ici l'examen des différents cas qu'on peut aborder d'une manière analogue et dont il serait facile

de multiplier les exemples; j'espère que ceux qui précèdent auront suffi pour indiquer les avantages considérables que l'on peut tirer des comparaisons hydrauliques surtout lorsque, comme dans un cours, on peut se placer sur le terrain expérimental.

Peut-être même ne serait-il pas exagéré de prétendre que ces comparaisons hydrauliques peuvent s'adresser à d'autres qu'à des commençants et donner à ceux qui sont déjà un peu familiarisés avec l'étude des phénomènes électriques une idée plus nette du mécanisme de ceux-ci que ne saurait le faire une analyse purement mathématique. G. CLAUDE.

LE NOUVEAU CABLE TÉLÉGRAPHIQUE DU S^{T}-GOTHARD

Le premier câble télégraphique qui traverse le tunnel du Saint-Gothard, livré par la maison Felten et Guilleaume, fut posé en 1882 ; dans l'année 1890 le chemin de fer du Saint-Gothard posa pour son service intérieur un câble télégraphique à trois conducteurs et un câble téléphonique concentrique. Bien que de cette façon l'ancien câble fut déchargé, il n'a pu suffire longtemps au service croissant ; l'éminente Direction des télégraphes suisses, qu'on voit toujours d'un œil prévoyant aller au-devant des exigences du service, décida donc l'acquisition d'un nouveau câble télégraphique qui fut posé dans les mois de septembre-octobre 1893.

Il s'agissait, avant tout, de tirer profit, dans la confection et la pose du nouveau câble, de l'expérience acquise depuis l'inauguration du tunnel.

Les eaux ruisselant des murs du tunnel contenant de l'hydrogène sulfuré, de l'acide sulfureux, de l'ammoniaque, de l'acide carbonique et autres produits de la fumée des locomotives, avaient même affecté les rails et traverses du chemin de fer, et il fallait avant tout veiller à ce que les matières employées aient la plus grande résistance possible contre les actions corrosives chimiques.

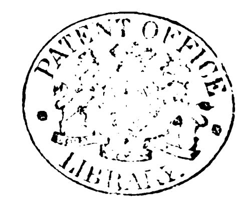
La température élevée du tunnel qui atteint 23° C.

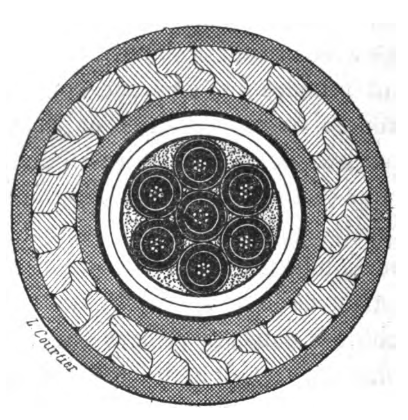
au milieu, était un autre fait dont il fallait tenir compte dans la confection du câble.

L'armature exigeait aussi des soins particuliers, étant donnée la possibilité de lésions accidentelles. On travaille presque en permanence dans le tunnel où l'obscurité, la chaleur, l'air malsain et d'autres circonstances rendent les travaux excessivement pénibles. Malgré une surveillance active, le câble est toujours exposé à être touché et lésé extérieurement; la pierraille à arêtes vives nécessite aussi une protection solide. Il fallait prendre en sérieuse considération ces conditions toutes extraordinaires et surmonter des difficultés incessantes. Mener cette affaire à bonne fin était, tant pour la Direction des télégraphes que pour l'usine qui avait à fournir le câble, une tâche de sérieuses responsabilités et de vives préoccupations. La solution fut trouvée dans le choix heureux de la composition du câble et dans une pose soignée. La Direction des télégraphes suisses dont la haute compétence est reconnue, établit comme premier principe qu'il fallait, pour le tunnel du Saint-Gothard, le meilleur câble possible. La Confédération, dans un esprit large et éminemment libéral, n'a donc épargné aucuns frais pour offrir à la télégraphie internationale une ligne sûre, du plus haut degré de perfection. Après un examen approfondi, l'Administration des télégraphes approuva, sur les propositions de la maison Felten et Guilleaume à Mulheim-sur-Rhin, le câble tel qu'il a été posé, et dont voici la section en grandeur naturelle, qui démontre sa composition.

Les conducteurs sont formés de torons à sept fils de cuivre de $0^m,007$, isolés par des couches alternatives de composition Chatterton et de gutta-percha jusqu'à

0^m,006 de diamètre; un ruban imprégné est enveloppé autour de chaque conducteur. Les sept conducteurs sont tordus en hélice et le faisceau ainsi formé est enveloppé de ruban goudronné. Une double gaine de plomb empêche l'infiltration de l'eau et des gaz pernicieux. Après les gaines de plomb vient une forte couche isolatrice composée principalement de filasse avec compound, ensuite vient l'armature archi-





solide formée par vingt-cinq fils de fer façonnés s'emboîtant l'un dans l'autre ; à l'extérieur, le câble est recouvert de filasse abondamment imprégnée d'un enduit préservatif. Le câble, de 52 millimètres de diamètre extérieur, a une longueur totale de 15.800 mètres divisée en tronçons de 750 mètres approximativement, enroulés sur des bobines de fortes dimensions, chaque tronçon ayant un poids brut de 15.420 kilogrammes environ.

En dehors du câble à sept conducteurs il en fallait, pour des raccordements spéciaux, des bouts à cinq et quatre conducteurs, lesquels, sauf le nombre des conducteurs, sont identiques au grand câble.

La composition du câble et les conditions techniques établies, il restait à résoudre la question de la pose. Elle a eu lieu sous la surveillance de M. le D[r] Von Wietlisbach de la Direction de Berne.

Il fut décidé de poser le câble dans la même tranchée où reposaient déjà les autres câbles. Cependant cette tranchée ne permettait pas de placer le nouveau câble à côté des anciens, l'élargissement de la tranchée n'était pas possible. Donc, pour éviter les dépenses d'une deuxième tranchée, de l'autre côté des rails, on a placé le nouveau câble au-dessus des autres, ce qui ne présentait pas le moindre inconvénient. Une couche de sable sépare les câbles entre eux, du sable et des plaques en pierre furent placés dessus et la tranchée ensuite remplie de pierraille.

La pose dans la tranchée s'opérait analoguement à celle des câbles déjà posés. La bobine renversée sur ses joues, de façon à ce qu'elle pût se tourner, reposait sur une voiture à plate-forme, traînée par une locomotive marchant très lentement. La descente du câble de la voiture et la pose se faisait avec les soins les plus méticuleux. Presque à mi-chemin entre les bouches du tunnel la tranchée croise les rails. Le très grand trafic du chemin de fer permettait de faire la pose seulement entre sept et neuf heures du soir ; les jonctions furent exécutées pendant la nuit.

Ce travail déjà difficile et précaire en plein air et dans des conditions favorables, l'était on ne peut plus dans cette température élevée, dans une atmosphère corrompue par la fumée épaisse des torches et des locomotives. L'air humide pénétré de particules de houille et de cendres rendait impossible de tenir propres les mains et outils, même pour peu de temps.

L'humidité et l'eau ruisselant en gouttes, mouillaient les extrémités des conducteurs, et la précaution la plus méticuleuse n'empêchait pas la production de petits défauts d'isolement.

Un poste d'essais installé à Gœschenen, muni d'un très sensible galvanomètre à réflexion, servait de contrôle. On eut beaucoup de peine à achever les jonctions et à les mettre dans l'état irréprochable qu'il faut.

Les extrémités assemblées des tronçons de câble sont renfermées dans des boîtes en fer expressément combinées par Felten et Guilleaume ; cela nous mènerait trop loin d'en donner une description détaillée.

Le câble est introduit dans les stations de Gœschenen et Airolo et muni de parafoudres.

Les conditions électriques prescrites par la Direction des télégraphes suisses par kilomètre, à 15° C. étaient :

Résistance du cuivre ne dépassant pas 7 ohms ;
Résistance d'isolement pas inférieure à 1000 megohms ;
Capacité ne dépassant pas 0,25 microfarad.

La pose terminée, le câble essayé indiquait les résultats suivants :

Résistance du cuivre : en moyenne 6,35 ohms ;
Résistance d'isolement : en moyenne 7.500 megohms ;
Capacité électrostatique : en moyenne 0,193 microfarad par kilomètre à 15° C.

(*Journal télégraphique de Berne*, 25 mars 1894.)

DEUX NOUVELLES MÉTHODES DE MESURE

DES COURANTS ALTERNATIFS

Nous trouvons, dans le *Philosophical Magazine* du mois de février, un article intéressant de M. J. Swinburne sur les mesures des courants alternatifs. L'auteur s'est proposé de comparer directement, à l'aide d'instruments différentiels, et par une méthode de réduction à 0 soit une différence de potentiel efficace alternative et une différence de potentiel continue, soit une intensité efficace alternative et une intensité continue, dans le but d'étalonner des appareils de mesure.

On sait, en effet, que les voltmètres et ampèremètres pour courants alternatifs mesurent ces deux quantités, c'est-à-dire la racine carrée des moyennes des carrés de la force électromotrice ou de l'intensité, définies par

$$(E_{eff})^2 = \frac{1}{T}\int_t^{t+T} E^2 dt \quad \text{et} \quad (I_{eff})^2 = \frac{1}{T}\int_t^{t+T} I^2 dt,$$

quantités qui suffisent pour l'évaluation de la puissance lorsque le circuit d'utilisation est dénué de self-induction ou de capacité.

1° *Différences de potentiel.* — Une batterie d'accumulateurs ou tout autre appareil A entretient dans un circuit contenant une résistance réglable R une intensité constante I. Une des extrémités *a* de cette résistance est mise en relation avec deux quadrants opposés d'un électromètre E, l'autre communique avec l'aiguille. D'autre part, les deux bornes de l'alternateur K commu-

niquent également, d'un côté avec l'autre paire de qua-

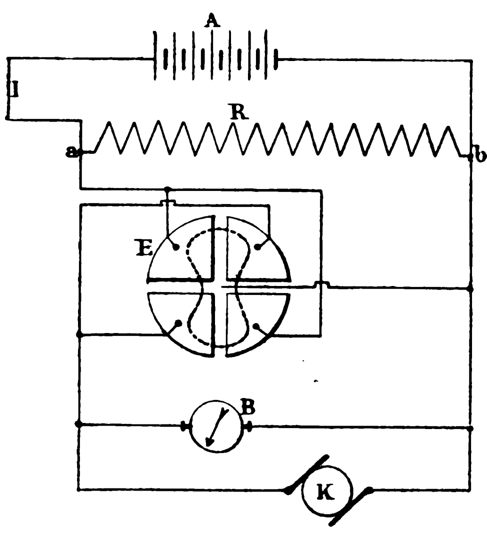


Fig. 1.

drants, de l'autre avec l'aiguille; entre les deux est mis en dérivation le voltmètre à étalonner. L'aiguille de l'électromètre peut être suspendue par un simple fil de cocon, car le couple de torsion doit être aussi faible que possible. Dans ces conditions, il est facile de voir que si l'on règle la résistance R de façon que l'aiguille revienne au 0, on aura $(RI)^2 = (E_{eff})^2$. On compare ainsi directement la différence de potentiel efficace mesurée par le voltmètre B avec la quantité RI, facile à évaluer par les méthodes potentiométriques bien connues. Pour avoir le 0 de l'appareil, une clé qui n'est pas figurée ici permet de réunir les quatre paires de quadrants.

2° *Intensités.* — M. Swinburne emploie un électrodynamomètre différentiel ayant deux bobines fixes et une mobile. Le courant continu produit par la batterie

A traverse une résistance R qui sert à sa mesure, puis

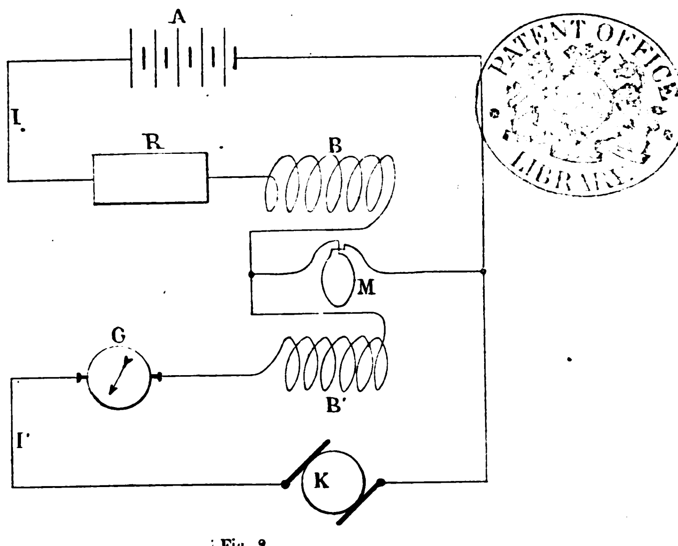
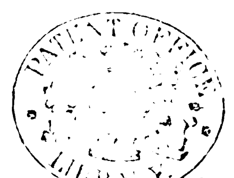


Fig. 2.

une des bobines fixe B et la bobine mobile M. Le courant alternatif produit par K traverse l'ampèremètre à étalonner C, la deuxième bobine fixe B_1 et aussi la bobine mobile. Le ressort antagoniste de l'appareil est enlevé. Il est évident que la bobine mobile restera au 0 quand on aura $(I)^2 = (I'_{eff})^2$. L'erreur due aux dérivations de chacun des courants dans l'autre peut être négligée vu la faible résistance de la bobine mobile M. Cet appareil étant destiné à comparer de grandes intensités, le courant doit être amené à la bobine mobile par des contacts à mercure.

Pour éviter la cause d'erreur indiquée ci-dessus, on pourrait employer une double bobine mobile; mais il faudrait alors quatre contacts à mercure qu'on pourrait, à la rigueur, réduire à trois. Cela compliquerait notablement l'appareil. V. M.



ACTION DES RADIATIONS ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES

SUR

DES PELLICULES CONTENANT DES POUDRES MÉTALLIQUES (*)

L'attention de M. G.-M. Minchin avait été attirée par une expérience faite par M. Branly. Ce dernier prenait un tube de verre rempli de limaille de cuivre, dans laquelle s'enfonçaient, aux deux extrémités, deux fils métalliques, sans toutefois que ces derniers touchent le bord du tube. Si on met ces deux fils en communication avec une pile et un galvanomètre, on constate en général qu'aucun courant ne passe; s'il en passe un, un coup donné au tube le fait cesser, et réciproquement.

Mais le fait le plus frappant est que, la colonne étant dans l'état où elle n'est pas conductrice, il suffit de faire éclater dans les environs l'étincelle d'une batterie de bouteilles de Leyde ou d'une bobine d'induction pour lui rendre immédiatement sa conductibilité.

L'auteur rapprocha ce fait de l'action des ondes électro-magnétiques sur des couples à sélénium. (La description de ces couples a été donnée dans le *Philosophical Magazine* de mars 1891.) Cet effet a pu être observé quand l'étincelle éclatait à 50 mètres du couple, placé dans une boite entièrement close. De plus, dans la plupart des cas, ce pouvoir que possèdent

(*) D'après le *Philosophical Magazine*. Janvier 1894.

les radiations électro-magnétiques de rendre sensible à la lumière un couple qui ne l'était pas dépend de leur longueur d'onde. En effet, si on introduit dans le circuit une capacité, on supprime l'action qui reparait si on enlève cette capacité.

M. Minchin pensa que cette action était due à une orientation des molécules sur la surface sensible, dont la cause était dans les actions électriques induites dans les fils rattachés aux pôles du couple par les radiations électro-magnétiques produites par le circuit à courant variable. En effet, si on enferme le couple, avec ses fils terminaux, dans une boîte métallique, on ne constate plus aucune action.

M. Minchin répéta les expériences de M. Branly avec des tubes remplis de limaille de cuivre, de zinc, d'étain, de bismuth, d'antimoine, etc., et trouva toujours le résultat précité. Néanmoins, l'expérience est plus difficile à réaliser avec des poudres très fines, qui sont presque des isolants, et avec des limailles un peu grosses, qu'il est difficile de rendre non conductrices. Il faut se tenir entre ces deux extrémités. Comme dans le cas précédent, l'action est supprimée, si on enferme le tube et ses fils terminaux dans une boite métallique; mais il se produit si ses derniers sortent de la boite, même le circuit étant ouvert.

Il eut ensuite l'idée de considérer le cas où les particules métalliques ne pourraient prendre que de petits déplacements et employa pour cela des pellicules de gélatine ou de colodion contenant des poudres beaucoup plus fines que dans les expériences précédentes.

Pour obtenir une plaque de gélatine, on opère ainsi : on étend une couche très mince de gélatine dissoute sur une plaque de verre ou d'ébonite. Quand elle est

bien sèche, on l'expose à un jet de vapeur d'eau pour la ramollir; puis on prend un tube à essai contenant la poudre métallique en suspension dans l'alcool, on l'agite et on répand une couche aussi uniforme que possible sur la gélatine. L'alcool s'évapore, laissant la poudre empâtée dans la gélatine, sans toutefois l'avoir traversée.

Pour les pellicules de collodion, on répand sur la couche qu'on vient d'étendre la poudre métallique contenue dans un tube à essai. La pellicule sèche et s'enlève de la plaque. Dans ce cas, c'est la surface qui était en contact avec le plateau qui contient les particules métalliques.

Dans le cas de la gélatine, si la couche est trop épaisse, il peut arriver qu'elle ne soit pas conductrice. Dans ce cas, il faut enlever la pellicule, et il reste sur la plaque une surface métallique qui remplira les conditions exigées pour l'expérience.

Voici ce que l'on peut constater sur ces plaques :

Soit ABCD la pellicule, L une pile d'un ou deux éléments, G un galvanomètre et K une clef simple ; un des fils, *m*, est fixé à la plaque au point P; l'autre, *n*, est terminé par une pièce arrondie, en platine, qui permet de toucher la pellicule en un point quelconque.

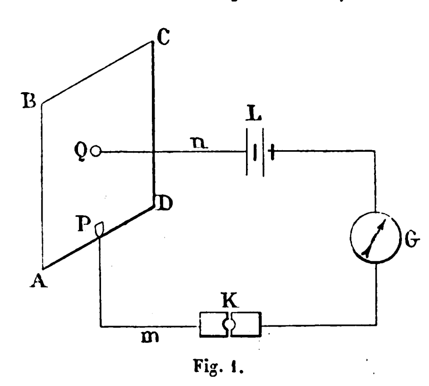


Fig. 1.

Dans ce cas, aucun courant ne passe, même si on fait le contact Q à 1/2 millimètre de P. L'étincelle

d'une bobine d'induction jaillissant à un pied de la pellicule ne produit aucun effet. Mais si on touche un des fils *m* ou *n* avec un corps électrisé, on voit un courant intense passer dans le galvanomètre. Si maintenant on accroît graduellement la distance de Q à P, en touchant chaque fois *m* ou *n* avec un corps électrisé, on peut rendre ainsi successivement la pellicule entière conductrice.

Mais le fait le plus remarquable est le suivant : si, la pellicule étant conductrice, on coupe le circuit en Q, et qu'on le rétablisse presque instantanément au même point, le courant ne passera plus; tandis que si on coupe le circuit en K, et qu'on le rétablisse, la pellicule restera conductrice, même si l'interruption a duré un certain temps.

La rupture du circuit en Q détruit instantanément la conductibilité de la pellicule, à moins qu'elle ne soit vieille de plusieurs jours. Dans ce cas, on peut couper le circuit en Q pendant environ une demi-minute sans faire perdre la conductibilité, effet dû sans doute à la diminution de la plasticité de la pellicule.

Finalement, ces pellicules sont moins sensibles aux chocs donnés à leurs supports que les tubes de M. Branly. La chaleur paraît ne rien produire sur elles. Mais, dans beaucoup de cas, leur conductibilité a été détruite par l'action de l'haleine ou d'un courant de vapeur, l'effet d'un corps électrisé la rétablissant toujours.

Autant que M. Minchin a pu l'observer, la lumière n'a pas d'action sur elles. Il pense cependant que l'état de la surface de ces pellicules a une grande analogie avec celle d'un couple à sélénium.

V. M.

CHRONIQUE.

Sur la perte de charge dans les longues lignes sillonnées par des courants alternatifs, par M. A. E. Kennelly.

The Electrician dans son numéro du 5 courant donne un extrait d'un travail de M. Kennelly sur la baisse de voltage qui se produit dans les lignes de grande longueur. Les résultats de ces recherches prennent une réelle importance dans le problème de la transmission de l'énergie à longue distance.

Pour éviter les pertes excessives dans les conducteurs, on a invariablement recours à l'usage des potentiels élevés. L'article de M. Kennelly montre, cependant, qu'à moins d'employer les très hauts potentiels, la perte dans les conducteurs peut être beaucoup plus grande qu'on ne l'avait soupçonné jusqu'ici, en raison du fait que l'induction dans le circuit abaisse le facteur de puissance, c'est-à-dire le rapport entre les watts vrais et les watts apparents et rend nécessaire de faire parcourir le circuit par un courant plus intense dans le but de fournir la quantité d'énergie demandée.

M. Kennelly a dressé des tables desquelles il ressort que si l'on compare deux circuits de chacun 10 miles de longueur (16^{km}), le premier transmettant l'énergie au potentiel de 10.000 volts, le second à 2.000 volts ; le produit des volts et des ampères, dans le premier cas, sera seulement d'environ 10 p. 100 plus grand que le nombre de watts transmis, tandis que, dans le second cas, le produit sera double du nombre de watts. Ceci signifie que le courant, dans ce dernier exemple, est double de ce qu'il serait si la ligne était employée à transmettre, par courant continu, la même quantité d'énergie au

même potentiel et la perte d'énergie, dans les conducteurs, serait naturellement quadruple.

En augmentant le potentiel de transmission, l'effet de la capacité de la ligne est majoré, tandis que l'effet de self-induction reste invariable, et comme ces effets sont opposés l'un à l'autre et sont presque égaux, dans le cas considéré, le système de très hauts potentiels est sensiblement indemne des ennuis provenant de l'induction. L'étude mentionnée indique qu'il faut judicieusement prendre en considération les effets de capacité et de self-induction, dans tout projet de transmission d'énergie à grande distance, car la capacité par mille adoptée par l'auteur n'est pas plus élevée que celle que deux conducteurs possèdent lorsqu'ils sont normalement écartés l'un de l'autre, soit $0^{m},60$.

(*L'Électricien*, n° 160.)

Influence des températures très basses.

Le professeur Dewar vient de reproduire à la « Royal Institution », une série d'expériences sur les curieux effets obtenus au moyen d'une température de — 200° C.

En voici quelques-unes :

Au 0 absolu, tous les métaux ont la même conductibilité électrique quelles que soient les différences constatées aux températures plus élevées.

En refroidissant partiellement un tube dans lequel on a fait le vide et que traversent des effluves électriques, la résistance augmente à tel point que la phosphorescence disparaît et que les décharges suivent une autre voie.

Comme le pensait Faraday, l'aimantation d'un aimant permanent augmente aux très basses températures; à — 200° on peut constater une augmentation de 50 p. 100.

Enfin la cohésion des métaux est influencée par les très basses températures; la charge de rupture du fer à — 180°

est juste le double de ce qu'elle est à 15°. On relève également des résultats très intéressants sur les allongements.

(*Electrical Review*, n° 844.)

Sur l'inadmissibilité du nickelage des appareils électriques et magnétiques.

Par le Dr. A. Ebeling.

L'Institut impérial physico-technique d'Allemagne a eu l'occasion de faire d'intéressantes observations sur le rôle joué par le nickelage des appareils magnétiques, desquelles il résulte qu'il n'est pas déplacé de recommander la circonspection dans la coutume de cette pratique. Voici le cas qui donna lieu à cette constatation.

Récemment fut envoyée à l'Institut, pour examen, une boussole pourvue d'une graduation dont l'aiguille aimantée modifiait son orientation par rapport au méridien magnétique, lorsqu'on tournait la boussole sur son axe. La boussole, notamment, fut tournée de 90°, de telle sorte qu'on porta d'abord la direction indiquée N.-S. et ensuite la direction E.-O. dans le méridien magnétique, l'orientation de l'aiguille aimantée se déplaça d'environ 8°.

On éloigna l'habitacle nickelé, cette irrégularité disparut; plus de doute, la défectuosité devait être attribuée au nickelage; après avoir dépouillé l'habitacle de sa couche de nickel, la boussole se comporta comme indemne de la présence du fer.

L'appareil était fortement nickelé; toutefois une très mince couche de nickel rendait les objets magnétiques, comme l'expérience le révéla. Un bâton de laiton absolument exempt de fer fut recouvert d'une très faible couche de nickel qui laissait encore apercevoir le laiton, néanmoins le bâton se montra magnétique.

Naturellement le nickelage n'est pas préjudiciable aux appareils grossiers; mais pour des instruments qui servent à des

mesures plus précises, tels que les boussoles, les galvanoscopes pour les épreuves d'isolement, etc., il faut s'abstenir de tout nickelage. Cette abstention s'étend particulièrement à tous les genres d'appareils de la constitution desquels on s'efforce d'écarter la présence du fer (*Zeitschrift für Instrumentenkunde.*) E. D.

(*L'Électricien*, 7 avril 1894.)

Sur une méthode électro-chimique d'observation des courants alternatifs (*).

Note de M. P. JANET, présentée par M. Mascart.

Les mesures des courants alternatifs présentent deux éléments qui leur sont propres et dont on ne rencontre pas l'analogue dans le cas des courants continus : ce sont les fréquences et les différences de phases. On n'a pas jusqu'ici attaché grande importance à la mesure des fréquences, parce que celles-ci se déduisent immédiatement de la vitesse et du nombre de pôles des alternateurs employés.

Il est néanmoins des cas, par exemple celui où un laboratoire reçoit un courant alternatif fourni par une station centrale éloignée, où il est bon de pouvoir les mesurer directement.

Quant aux différences de phases dont la mesure est si importante dans une multitude de questions concernant le courant alternatif, les méthodes proposées jusqu'ici ont toutes l'inconvénient d'être des méthodes détournées, compliquées, et surtout de nécessiter l'introduction, dans le circuit, d'instruments dont la self-induction peut fausser le résultat des mesures. Il y a donc un grand intérêt à instituer une méthode simple, suffisamment exacte pour les cas ordinaires, et ne donnant lieu à aucune de ces objections.

La méthode graphique permet d'atteindre ce résultat avec une simplicité remarquable. Disposons sur un cylindre enregistreur métallique une feuille de papier imbibée de la solution de ferrocyanure de potassium et d'azotate d'ammoniaque

(*) Laboratoire d'électricité industrielle de la Faculté des sciences de Grenoble. *Comptes rendus*, 16 avril 1894.

utilisée dans le télégraphe électro-chimique de Bain, et sur ce papier, un style en fer ou en acier. Faisons communiquer le cylindre d'une part, la pointe en fer de l'autre, avec les deux points entre lesquels nous voulons étudier la force électromotrice périodique; le circuit dérivé ainsi formé (dont on peut au besoin accroître la résistance) ne présentant pas de self-induction, l'intensité du courant qui le traverse ne présentera pas de décalage sur la force électromotrice qui le produit (*). Si, dans ces conditions, on fait tourner rapidement le cylindre, on obtient une trace discontinue de bleu de Prusse dont les maxima, parfaitement nets, correspondent aux maxima de la force électromotrice périodique que l'on étudie. On voit immédiatement que cette méthode se prête avec une extrême facilité à l'étude d'une foule de questions concernant les courants périodiques. Pour avoir la fréquence, il suffit d'inscrire simultanément la force électromotrice périodique et la seconde ou les fractions de seconde. Pour avoir la différence de phase entre deux forces électromotrices de même période, il suffit de les inscrire l'une à côté de l'autre et de déterminer la position relative des maxima de l'une des traces par rapport aux maxima de l'autre. La méthode se prêtera ainsi sans difficulté à étudier les différences de phase entre le courant primaire et le courant secondaire, la force électromotrice primaire et la force électromotrice secondaire dans un transformateur, à étudier les conditions d'accouplement de deux alternateurs, etc. Je n'insiste pas sur toutes les applications possibles de cette méthode, qui me semble devoir rendre de véritables services dans une foule de questions d'électro technique.

J'indiquerai simplement quelques applications que j'en ai faites. Le courant alternatif employé était le courant fourni sous une tension de 110 volts par la station centrale de la Société grenobloise d'éclairage électrique au laboratoire d'électricité de la Faculté des sciences (**).

(*) En supposant même que la capacité de polarisation introduisit une différence de phase, cette différence serait une quantité constante qui n'aurait pas d'influence sur les mesures.

(**) Ce courant provient d'alternateurs Zipernowski à 2.000 volts et est abaissé à 110 volts par des transformateurs.

1° Soient trois points A, B, C, pris sur le circuit et séparés par des résistances non inductives : mettons le point B en communication avec le cylindre enregistreur; les points A et C en communications avec les styles. J'ai réalisé l'expérience en mettant en série un certain nombre de lampes de 20 volts. Deux de ces lampes ont constitué les résistances AB, BC. Dans ces conditions, on obtient sur le cylindre deux lignes discontinues, les maxima de l'une séparant exactement en deux parties égales les intervalles formés par les maxima de l'autre.

2° A l'une des deux lampes ci-dessus, j'ai substitué une résistance inductive (bobine primaire d'un petit transformateur à circuit magnétique fermé, dont le secondaire était ouvert). La différence de phase a immédiatement changé, et les maxima de la ligne discontinue correspondant à la bobine séparent maintenant en deux parties nettement inégales les intervalles des maxima de la ligne correspondant à la lampe. On pourrait sans difficulté en déduire une valeur très suffisamment approchée de la différence de phase entre les deux forces électromotrices étudiées.

Ces deux exemples montrent avec quelle facilité la méthode s'applique. Je me propose de poursuivre ces études.

(*Comptes rendus*, 16 avril 1894.)

Le transport d'énergie de Lauffen à Francfort.

Le rapport de la commission de vérification de l'exposition de Francfort relatif aux études faites sur cette installation de transport d'énergie, rapport rédigé par le professeur H.-F. Weber, vient d'être publié. Nous donnons ci-dessous, d'après l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, les principaux résultats de ces essais.

Rappelons que l'installation Lauffen-Francfort avait pour but de démontrer la possibilité de transmettre sous forme de courant alternatif à haute tension une puissance de quelques centaines de chevaux, à une distance de 170 kilomètres et avec un rendement assez grand pour permettre l'exploitation économique d'une telle installation.

Pour utiliser l'énergie transmise non seulement pour l'éclairage, mais aussi pour la production de la force motrice, on ne s'est pas servi du courant alternatif simple, mais des courants triphasés, système qui promettait de faciliter l'emploi de moteurs alternatifs dans d'aussi bonnes conditions que le courant continu.

Comme la durée des essais était très restreinte, la commission a dû limiter ses travaux à l'examen des questions suivantes, qui paraissent les plus importantes :

1. Quelle est la puissance que transmet la turbine employée à Lauffen à une vitesse angulaire et une hauteur de chute données?

2. Dans quel rapport se trouve l'énergie fournie au circuit tertiaire de Francfort et l'énergie transmise pendant le même temps par la turbine à la dynamo?

3. Quel est le rendement de la dynamo, du transformateur primaire et du transformateur secondaire sous la charge existant pendant les essais sur le rendement de la transmission ?

4. Quelle est la grandeur de la perte d'énergie qui se produit dans une ligne de 170 kilomètres sous l'influence du courant de haute tension ; cette perte est-elle déterminée seulement par la résistance de la ligne ou s'en produit-il d'autres?

En ce qui concerne la première question, disons seulement que, d'après la moyenne de six essais, la turbine donnait, avec $3^{m},75$ de hauteur de chute utile et à 160 tours par minute, une puissance de 232 chevaux.

Les déterminations du rendement de l'installation Lauffen-Francfort ont été faits de la manière suivante :

Après que la charge du transformateur secondaire à Francfort eut été amenée à la valeur voulue en intercalant des lampes dans les trois circuits tertiaires, on télégraphiait à Lauffen que la prochaine série de mesures pourrait être commencée 5 ou 10 minutes plus tard ; les observateurs à Lauffen répondaient à l'appel et amenaient ensuite la dynamo à la vitesse angulaire normale (150 tours par minute) et à la tension normale d'environ 5,5 volts; la durée d'une série de mesures fut toujours de 10 minutes.

Au cours de chaque série on observait à Lauffen :

1° La charge de la turbine et le niveau de l'eau en amont et en aval ;

2° Les intensités de courant dans les trois circuits primaires ;

3° Les tensions primaires entre les bornes de la machine et la ligne neutre mise à la terre ;

4° L'intensité du courant d'excitation de la dynamo ;

5° La vitesse angulaire de la dynamo.

Les observations à Francfort comportaient la détermination des puissances dans les trois lignes tertiaires et dans la quatrième ligne neutre. Les trois wattmètres employés dans ce but étaient amenés au zéro trois fois par minute, et l'on changeait le sens du couple toutes les minutes, de sorte que chaque wattmètre fournissait 31 lectures par série d'expériences. De ces 31 lectures on tirait 10 valeurs moyennes.

Le rapport constate l'uniformité tout à fait remarquable des courants tertiaires, dont la source se trouvait à 170 kilomètres.

La puissance fournie par le second transformateur était en moyenne de 114 chevaux, la tension tertiaire moyenne de 64,3 volts, l'intensité moyenne du courant tertiaire de 440 ampères et le rendement moyen de 74,4 p. 100.

Comme il est intéressant de savoir si le rendement est affecté par les conditions atmosphériques le long de la ligne, ce point a été noté également. Quoique la durée des expériences ait été assez courte, on peut néanmoins admettre que l'influence du temps est très peu considérable.

Après la détermination du rendement de l'installation, il s'agissait de déterminer celui de la dynamo génératrice pour arriver à distinguer dans le rendement total l'importance des divers facteurs.

La puissance normale de la turbine était de 300 chevaux. Dans les expériences on n'a pas dépassé 154,4 chevaux. Si l'on tient compte de la variation de la perte avec la charge, on trouve pour le rendement en pleine charge de la dynamo de Lauffen 0,954.

Les mesures faites sur les transformateurs ont donné les résultats suivants.

Le rendement du transformateur de la Société générale

d'électricité est, à 100 kilowatts, de 96 p. 100. Le rendement maximum, lorsque les pertes dans le fer et le cuivre sont égales, est de 96,1 p. 100.

Le transformateur Œrlikon avait à très peu près le même rendement.

Le rapport résume ainsi les résultats obtenus :

1° Dans l'installation Lauffen-Francfort pour la transmission de l'énergie par courant alternatif à 7.500 à 8.500 volts, par l'intermédiaire d'une ligne de cuivre nu portée sur isolateurs à huile, on a pu utiliser dans les circuits tertiaires à Francfort, dans le cas de la charge la plus faible, 68,5 p. 100, et dans le cas de la plus grande charge 75,2 p. 100 de la puissance fournie par la turbine de Lauffen à la dynamo génératrice ;

2° Dans cette transmission on ne constate comme cause de perte que celle due à l'effet Joule ;

3° Des recherches théoriques ont démontré que l'influence de la capacité de la ligne est si minime pour des courants de 30 à 50 périodes par seconde qu'elle peut être négligée ;

4° Le fonctionnement du circuit a isolement d'air et porté sur porcelaine est aussi sûr et aussi régulier avec les courants alternatifs de 7.500 à 8.500 volts qu'avec des courants à basse tension.

(*La Lumière électrique*, t. III, p. 273.)





BIBLIOGRAPHIE

La téléphonie historique, technique, appareils et procédés actuels ; par M. Émile Piérard. — Charles Dewer, éditeur, *Liège.*

M. Émile Piérard, ingénieur honoraire des mines de Belgique, ingénieur des télégraphes belges, vient de publier sous ce titre un volume des plus intéressants. Bien que se plaçant surtout au point de vue pratique, M. E. Piérard ne néglige pas les travaux théoriques auxquels a donné lieu la téléphonie et nous avons retrouvé avec plaisir dans son ouvrage les noms de MM. Mercadier, Preece, Vaschy, Heaviside, Carty, etc. Les types de transmetteurs ou récepteurs les plus employés sont passés en revue ainsi que les différents systèmes de commutateurs, simples ou multiples, pour lignes unifilaires ou bifilaires, dicordes ou monocordes.

La construction des lignes fait l'objet d'un chapitre intéressant où M. Piérard a eu l'heureuse pensée d'intercaler des tableaux numériques toujours si utiles dans la pratique courante. La téléphonie et la télégraphie simultanées pour lesquelles la Belgique a tant fait, ne pouvaient manquer non plus d'être visées dans le volume de M. Piérard, où l'on rencontre d'ailleurs une quantité de renseignements précieux sur le service belge. Nous ajouterons que les figures accompagnant le texte sont presque toujours d'une grande clarté et contribuent à rendre facile et agréable la lecture de cet ouvrage instructif.

Électricité appliquée à la marine, par P. MINEL.
(Gauthier-Villars, éditeur.)

M. Minel, ingénieur des constructions navales, vient de faire paraître dans la collection de l'*Encyclopédie scientifique des aide-mémoire*, publiée sous la direction de M. Léauté, un nouveau fascicule.

L'auteur étudie les diverses sources d'électricité utilisées dans la marine, d'une part les machines à courant continu, leurs modes d'excitation et d'accouplement, et d'autre part les accumulateurs. Il passe ensuite à l'emploi de ces sources électriques pour le service des moteurs, des lampes à incandescence et des projecteurs, et termine par une étude sur les projets d'installation et le fonctionnement de l'éclairage à bord d'un bâtiment.

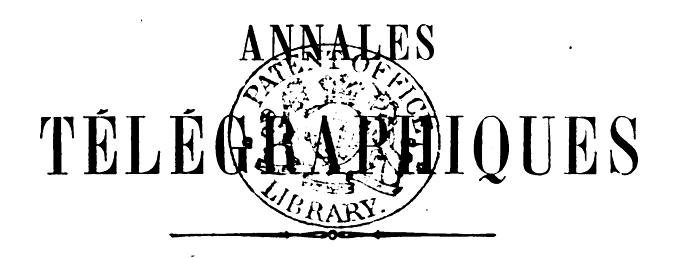
Pas de théorie; l'auteur renvoie, le cas échéant, à son *Introduction à l'Électricité industrielle*.

L'Éditeur-Gérant : Vve CH. DUNOD et P. VICQ.

16.7.94.



PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.



ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1894 **Mai - Juin**

CABLES TÉLÉPHONIQUES A CIRCULATION D'AIR SEC

14.9.94

Les câbles téléphoniques qui, pendant longtemps, ont été seuls employés dans le réseau de Paris étaient des câbles isolés à la gutta et recouverts de plomb. Le modèle a successivement subi quelques modifications, mais la spécification ne s'éloigne pas beaucoup du type actuel qui est ainsi défini :

Quatorze conducteurs câblés deux par deux formant sept circuits ; chaque conducteur composé de trois brins de cuivre de $0^{mm},5$ entourés d'une gaine de gutta portant le diamètre à 3 millimètres, les sept paires tordues ensemble et formant un câble qui est recouvert d'une bande de coton et d'une enveloppe de plomb de $1^{mm},25$ d'épaisseur. Le diamètre total est de 22 millimètres, le poids par kilomètre de 1.070 kilogrammes, la longueur de chaque bobine de 500 mètres, la résistance kilométrique de chaque conducteur de 31 ,22 à + 24°C; l'isolement kilométrique varie entre 200 et 2.500 mégohms, enfin la capacité kilométrique est de

0,25 microfarad. Pour la mesure de l'isolement et de la capacité, tous les conducteurs autres que celui que l'on essaie, ainsi que l'enveloppe, sont mis à la terre.

Ces câbles sont faciles à poser, parce qu'ils sont très souples, et la réparation est possible, parce qu'on peut sans difficulté remplacer une section mauvaise; mais ils présentent quelques inconvénients. En raison de la faible épaisseur de la gaine de plomb, ils ne durent pas très longtemps, huit à dix ans au plus en égout; les soudures sont assez longues à faire et les câbles sont très chers, en raison du prix de plus en plus élevé de la gutta, ils coûtent 3.420 francs le kilomètre en 1894. Mais le principal inconvénient de ces câbles est leur grande capacité et leur forte résistance qui les rend impropres à la téléphonie à longue distance.

Il est facile de diminuer la résistance, mais la capacité, qui dépend du coefficient spécifique de la gutta, ne peut varier beaucoup. Aussi lorsqu'on a posé les circuits interurbains à longue distance, a-t-on utilisé les câbles Fortin-Herrmann qui possèdent une faible capacité.

Dans ces câbles, l'âme est composée d'un toron de sept brins de $0^{mm},7$ ou de $0^{mm},5$ sur lequel sont enfilées des perles en bois paraffinées. On a d'abord fait des câbles à six conducteurs (trois paires), puis à quatorze (sept paires); la spécification actuellement adoptée est la suivante : quatorze conducteurs câblés deux à deux, chaque conducteur formé de sept brins de cuivre de $0^{mm},5$ isolé au moyen de perles en bois paraffinées. Ces perles sont des cylindres en bois de 8 millimètres de longueur et 4 millimètres de diamètre extérieur. Les sept paires tordues ensemble sont recouvertes d'une enveloppe de plomb de 3 millimètres

d'épaisseur; le diamètre total est de 29 millimètres; le poids par kilomètre....., la longueur de chaque bobine de 200 mètres, la résistance kilométrique de chaque conducteur de 13^{ω} à + 24°C, l'isolement kilométrique de 1.000 mégohms, la capacité kilométrique de 0,06 microfarad. Ces chiffres sont ceux des cahiers des charges. En général, on trouve pour la résistance 12^{ω},2 à + 24 et pour la capacité 0,045.

Quant à l'isolement, il dépend de la sécheresse de l'air enfermé dans le câble et le chiffre de 1.000^{Ω} est facilement dépassé, comme on le verra plus loin.

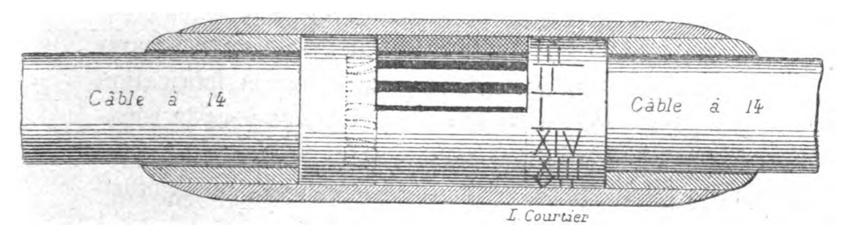


Fig. 1.

Les raccords sont faits au moyen de manchons en ébonite ayant quatorze rainures sur le pourtour. Les conducteurs en cuivre sont réunis par une simple ligature qui se loge dans la rainure. Le manchon est alors recouvert de deux demi-cylindres en ébonite et les deux bouts du câble sont soudés sur un manchon en plomb qui enveloppe le manchon en ébonite. Les extrémités du câble aboutissent à des têtes en bois formées de deux parties creuses. Les bornes sont extérieures, elles traversent l'une des faces de la tête

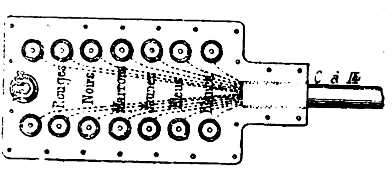


Fig. 2.

et sont fixées sur un socle en ébonite placé à l'intérieur de la tête.

Ces câbles sont assez faciles à poser, il faut toutefois prendre quelques précautions pour ne pas casser les perles. Ils présentent de grands avantages sur les câbles en gutta en raison de leur faible capacité et conservent très bien leur isolement tant que l'enveloppe de plomb n'est pas percée. Mais lorsque, par un accident quelconque, l'air humide de l'égout entre dans le câble, l'isolement baisse rapidement et on n'avait aucun moyen de réparation avant l'emploi de l'air sec que je vais expliquer en détail : car ce procédé imaginé pour la réparation est devenu d'un emploi courant pour la pose des câbles neufs et même pour la fabrication des câbles Fortin. Il est aussi employé pour la réparation et la pose des câbles isolés au papier dont il sera parlé plus loin et dans certains cas pour la fabrication.

Avant de décrire l'installation actuelle réalisée dans les bureaux centraux nouveaux de la rue Gutenberg et de l'avenue de Wagram, je crois utile de dire quelques mots des premiers essais.

A la fin de 1891, le câble Fortin à six conducteurs allant de la Bourse à la gare Montparnasse était devenu défectueux. On reconnut que l'enveloppe en plomb avait été percée par les rats et que l'humidité s'était introduite dans le câble, ce qui avait fait tomber l'isolement à moins de 1 mégohm par kilomètre. Le trou fut bouché par une soudure, mais le sectionnement du câble fit reconnaître qu'il aurait fallu enlever plusieurs bouts de 200 mètres pour obtenir un isolement satisfaisant, tout en ne dépassant pas 100 mégohms. Je pensai qu'en faisant passer un courant d'air sec dans

le câble entier, j'enlèverais l'humidité et que par conséquent je ferais remonter l'isolement à sa valeur primitive qui avait été de 5.000 mégohms par kilomètre aux essais de réception (*). Ce câble ne desservait que le circuit de Versailles, qui fut facilement détourné et je commençai les essais en opérant d'abord par aspiration.

Le dessécheur d'air était composé d'un flacon de verre à deux tubulures de cinq litres contenant $3^{k},500$ d'acide sulfurique à 66 degrés Baumé et d'un grand tube rempli de chlorure de calcium calciné dans la partie supérieure, et de chaux vive dans la partie inférieure. La chaux était destinée à arrêter les traces de vapeur d'acide sulfurique. Un papier tournesol bleu ne rougissait pas au passage de l'air sec : on était donc sûr de ne pas détériorer les conducteurs en cuivre par des vapeurs acides. L'aspirateur était une trompe à eau. Je constatai d'abord que les manchons pleins en ébonite étaient un grand obstacle à la circulation de l'air, ces manchons ayant été préparés pour séparer entre elles les différentes sections du câble et éviter ainsi la mise hors de service de plusieurs sections à la fois. Mais néanmoins, la fermeture n'étant pas parfaite, j'obtins une légère aspiration sur la longueur totale qui est de $5^{k},200$.

L'isolement du câble était déjà devenu très élevé lorsque, par suite d'un accident, l'eau de l'aspirateur

(*) En 1886, M. Lagarde, chef du service de la vérification du matériel, avait tenté de réparer par un procédé du même genre des bobines de câble *avariées en magasin;* toutefois l'air employé était probablement insuffisamment sec, puisque les isolements ne purent être relevés au-dessus de 200 Ω, et qu'une bobine dut même être complètement abandonnée.

Devant ces résultats incomplets, les essais ne furent pas poursuivis.

(N. D. L. R.)

s'introduisit dans le câble qui fut ainsi mis complètement à la terre. Je fis alors brancher deux prises sur la *pression* et le *vide* des tubes pneumatiques de la Bourse et je disposai ainsi d'une pression de 600 millimètres de mercure et d'un vide de 500 millimètres, soit environ $0^k,800$ et $0^k,660$ par centimètre carré. Je commençai par faire ouvrir le premier manchon et au moyen de *la pression* je fis écouler complètement l'eau qui était dans le câble, mais il était toujours à la terre. Je mis le dessécheur à l'extrémité de la première section dans l'égout même et au moyen du *vide* je fis passer un courant d'air sec. Au bout de 88 heures, la section de 200 mètres qui avait été remplie d'eau avait 3.000 mégohms, soit 600 mégohms par kilomètre. La première partie de l'expérience avait réussi et il était évident que le câble entier pourrait être desséché.

Dans cette expérience, le flacon d'acide sulfurique avait augmenté de 600 grammes. En admettant que l'air de l'égout dans lequel il était placé fût saturé d'humidité, on peut calculer approximativement le volume d'air aspiré. La tension de la vapeur d'eau à la température de l'égout 11 degrés est de 10 millimètres de mercure, et le poids du litre de vapeur d'eau à 760 millimètres est de $0^{gr},800$. Chaque mètre cube d'air contenait donc $\frac{10}{750} 800 = 11$ grammes de vapeur d'eau, et par suite le volume d'air aspiré était de 54 mètres cubes.

Je constatai qu'il n'y avait pas d'eau à l'état liquide dans la section suivante du câble. Le manchon fut refermé et le dessécheur transporté à l'extrémité du câble. Au bout de 41 heures, l'expérience était ter-

minée et l'isolement du câble était de 12.500 mégohms par kilomètre, c'est-à-dire bien supérieur à l'isolement après la pose. Comme je l'ai dit, les manchons pleins en ébonite, préparés en vue d'empêcher l'humidité de se propager, gênaient beaucoup le passage de l'air (*); aussi, à partir de ce moment, tous les manchons des nouveaux câbles posés ont été percés à leur centre d'un trou de 8 millimètres. Le câble n'est plus ainsi divisé en sections n'ayant aucune communication entre elles; il forme une canalisation continue dans laquelle on peut faire circuler de l'air sec pour les réparations.

Le procédé est devenu d'une application courante pour la réparation des câbles Fortin; il a été employé sur presque tous les câbles soit à la suite d'accidents, soit pour relever l'isolement des câbles ancien modèle dont les jonctions étaient faites avec des manchons en bois recouvert de caoutchouc. Toutefois, pour faciliter le travail, j'ai abandonné l'aspiration par *le vide* qui nécessitait le transport du dessécheur dans les guérites.

En employant, au contraire, l'air comprimé, le dessécheur reste fixe à la Bourse. Ce dispositif permet en outre de trouver beaucoup plus facilement les trous de l'enveloppe de plomb; il suffit de suivre le câble en égout et on entend le sifflement de l'air comprimé qui s'échappe. De plus, on ne risque pas d'introduire de l'air humide par une fissure inconnue, comme le fait s'est produit sur un câble de la guérite d'Asnières que je réparais en procédant par aspiration.

(*) Le tube d'aspiration en verre avait 12 millimètres intérieurement. Ce n'est qu'au bout de douze heures qu'on a constaté un commencement d'aspiration. Après dix-sept heures, la vitesse d'aspiration était faible, car il ne passait que 15 bulles d'air par minute tandis qu'on avait 60 bulles par minute lorsque le régime fut établi.

Le premier dessécheur qui avait servi aux essais était trop fragile, il a été remplacé par un autre dont le croquis ci-joint indique la disposition.

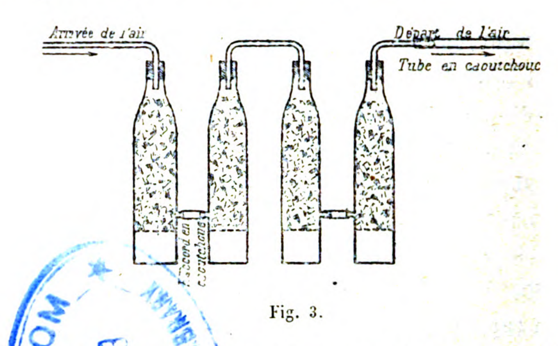


Fig. 3.

Il se compose seulement de quatre grands flacons de huit litres en plomb remplis de chlorure de calcium. Un intervalle est ménagé dans le bas de chaque flacon pour recueillir le chlorure dissous par l'eau contenue dans l'air qui traverse le dessécheur. L'acide sulfurique a été supprimé, bien que ce soit le meilleur desséchant connu, parce que son maniement est dangereux surtout en cas de rupture des vases sous la pression. J'ai constaté d'ailleurs qu'avec un débit semblable à celui de la première expérience et mesuré grossièrement en comptant les bulles par seconde, l'acide sulfurique mis à la suite des quatre flacons de chlorure n'augmentait pas de poids, ce qui indique que l'air était bien desséché.

L'emploi de l'air sec a été aussi très utile pour la pose des câbles Fortin. Auparavant il fallait en effet prendre beaucoup de précautions pour éviter l'introduction de l'air humide pendant le raccordement des manchons; actuellement ces raccords sont faits sans précaution spéciale et si l'isolement du câble n'est pas

satisfaisant lorsqu'on fait les essais de réception, il suffit de faire passer un courant d'air sec pour obtenir sans difficulté 8 à 10.000 mégohms par kilomètre.

Les têtes en bois Fortin n'étant pas suffisamment étanches, on envoie le courant d'air sec au moyen d'un ajutage soudé sur le tube en plomb, après avoir obturé le câble du côté de la tête en coulant de la paraffine.

Lorsque fut décidé le transfert des lignes interurbaines à l'hôtel des Téléphones, rue Gutenberg, je demandai l'établissement au laboratoire d'essais d'un dessécheur de grande dimension avec prise d'air sur la canalisation Popp, pouvant servir non seulement pour les câbles Fortin, mais encore pour les câbles isolés avec du coton ou du papier. J'espérais en effet que l'air pourrait circuler dans ces câbles, à condition qu'ils ne soient pas paraffinés aux extrémités des sections ou dans les soudures, et je pensais que le passage d'un courant d'air sec suffirait à relever l'isolement lorsque l'air humide aurait mis le câble hors de service.

Il était utile pour dessécher les câbles isolés au papier d'avoir une pression supérieure à celle des tubes pneumatiques, parce que l'air devait passer beaucoup plus difficilement que dans les câbles Fortin. L'expérience a été faite, en juillet 1893, sur un câble Paterson. Elle a complètement réussi, et depuis le procédé est devenu d'une application courante (*).

Le dessécheur installé à Gutenberg se compose de six cylindres en fer de 5 millimètres d'épaisseur, 200 millimètres de diamètre intérieur et $1^m,20$ de hauteur. Ces colonnes sont fermées aux deux extré-

(*) Le détail des expériences est donné à la suite de cette note.

mités par un plateau en fer boulonné sur une bride. Dans chacune d'elles se trouve une grille à $0^{m},20$ du fond, et toute la partie supérieure, soit 1 mètre, est

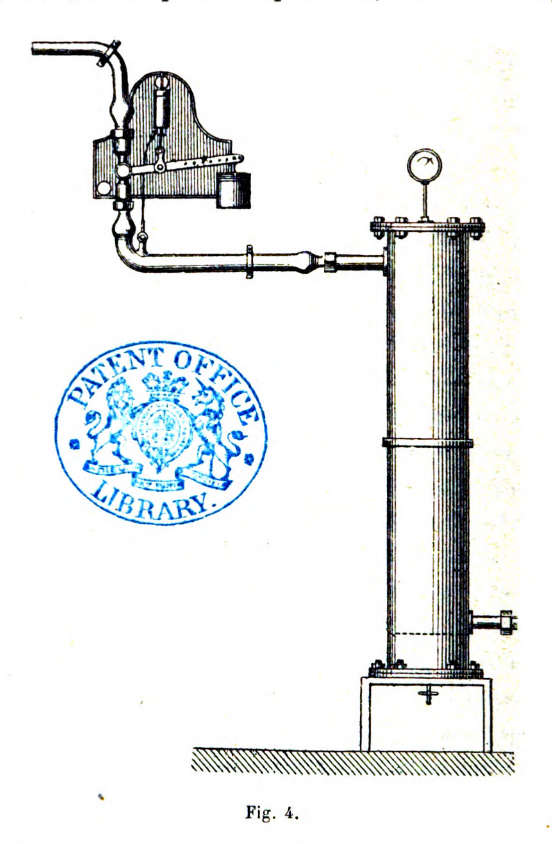


Fig. 4.

remplie de chlorure de calcium calciné (30 litres par colonne, soit 15 à 20 kilogrammes suivant la densité du chlorure). Chaque colonne repose sur une boîte en chêne formant socle, et un robinet de vidange vissé dans le plateau inférieur permet d'évacuer le chlorure dissous par l'humidité de l'air. La dernière colonne

n'est pas remplie complètement de chlorure, on a réservé un espace de $0^{m},30$ dans laquelle on a mis de l'ouate pour filtrer l'air et éviter l'entraînement de poussière de chlorure. Une pomme d'arrosoir à trous fins est vissée sur le tuyau de départ pour arrêter le coton.

Enfin un régulateur de pression est placé immédiatement après le compteur et un manomètre est vissé sur la première colonne. L'air fourni par la canalisation Popp est à la pression de 5 kilogrammes par centimètre carré. Cette pression est trop forte et le régulateur a pour but de la faire varier de 1 à 3 kilogrammes. Il ne serait pas prudent de dépasser cette limite.

Ce régulateur est formé d'un robinet commandé par un levier sur lequel s'articule la tige d'un piston dont la face inférieure est en communication avec le dessécheur. Un poids que l'on peut faire varier à volonté au moyen de rondelles de plomb peut se déplacer le long de la tige du levier. Lorsque la pression exercée sur la face inférieure du piston est suffisante pour soulever le poids, le robinet se ferme, par conséquent la pression dans le dessécheur ne peut dépasser la limite qu'on a fixée d'avance. Le réglage de ce régulateur se fait expérimentalement au moyen du manomètre. On s'assure de temps en temps, en faisant passer l'air dans un flacon à acide sulfurique que l'on pèse avant et après l'expérience, que l'air sort parfaitement sec.

Dans les premiers câbles Paterson, les conducteurs isolés d'abord au coton, puis au papier, étaient entièrement noyés dans la paraffine et la capacité était d'environ 0,12 microfarad. Pour diminuer cette capacité la paraffine fut supprimée dans la plus grande partie du

câble et conservée seulement aux extrémités sur une longueur de 8 à 10 mètres.

Dans le premier et le deuxième modèle les soudures se font de la manière suivante. Les conducteurs sont relié par une simple torsade recouverte d'un manchon en papier, puis le tout est noyé dans la paraffine bouillante et la soudure est recouverte d'un manchon en plomb soudé sur les bouts du câble raccordés.

Cette soudure est très délicate à faire, il faut prendre beaucoup de soin pour que les manchons de papier ne soient pas humides, et malgré toutes les précautions et l'habileté des ouvriers il est arrivé plusieurs fois que des soudures ont été mauvaises.

Dès qu'il fut prouvé que les câbles sous papier pouvaient être desséchés, la paraffine fut entièrement supprimée aux extrémités des bobines et dans les soudures, et l'emploi de l'air sec a été généralisé.

Voici la description des câbles actuellement employés:

Chaque conducteur est formé d'un seul fil de cuivre de 1 millimètre entouré de deux bandes de papier. La première bande doit être enroulée avec un pas très long pour faciliter le passage de l'air. Il vaut même mieux que cette première bande forme simplement une gaine autour du fil sans enroulement, l'air passe avec facilité dans le conduit ainsi formé autour du fil et la capacité est diminuée. Les conducteurs sont ensuite tordus deux à deux au pas de $0^m,20$ pour former une paire, puis cordés ensemble en les disposant par couches régulières enroulées en sens inverse de manière à former un cylindre bien régulier. L'âme comprenant cinquante et une paires est recouverte d'un tube de plomb d'au moins $3^{mm},5$ d'épaisseur. Le diamètre total

est de 48 millimètres et le poids par kilomètre de 5.650 kilogrammes.

Les bobines ont en général 175 mètres. La résistance moyenne du cuivre varie de 20,5 à 21,5 ohms légaux à la température des égouts, soit 12°, et la capacité moyenne est de 0,06 tous les fils autres que celui en essai ainsi que l'enveloppe de plomb étant à la terre. L'isolement est en général de 3.000 Ω par kilomètre, mais on peut obtenir facilement 6.000 à 8.000 par le passage d'un courant d'air sec.

Les câbles aboutissent à des têtes en fonte. On se sert actuellement de deux modèles, l'un dans les bureaux centraux pour les raccords avec les câbles allant au multiple en passant par le commutateur, l'autre dans les chambres de concentration d'où partent les câbles à sept paires pour la distribution chez les abonnés.

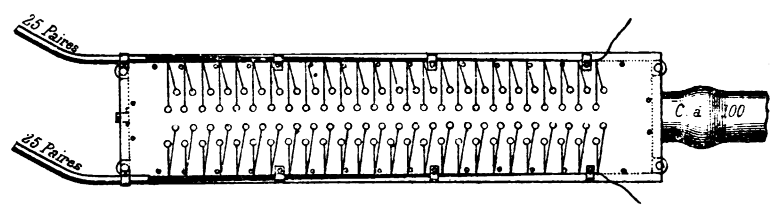


Fig. 5.

La tête pour bureaux centraux est une boîte en fonte avec ajutage en cuivre pour l'entrée du câble. Un manchon en plomb soudé sur l'ajutage en cuivre et sur l'enveloppe de plomb rend cette entrée étanche.

Des bornes (au nombre de cent deux pour les câbles à cinquante et une paires) sont fixées sur le couvercle qu'elles traversent dans un canon en ébonite vissé dans la fonte. Les conducteurs du câble aboutissent à la partie de la borne qui est à l'intérieur de

la tête et les câbles de poste allant au multiple se fixent sur la partie extérieure. Dans les têtes employées primitivement on noyait tous les fils dans la paraffine bouillante, ce qui rendait les recherches impossibles dans le cas où une borne se desserrait. Actuellement on ne met plus de paraffine et on a ajouté un ajutage pour l'envoi de l'air sec. On rend la tête aussi étanche que possible en interposant une bande de caoutchouc entre le couvercle et la boite.

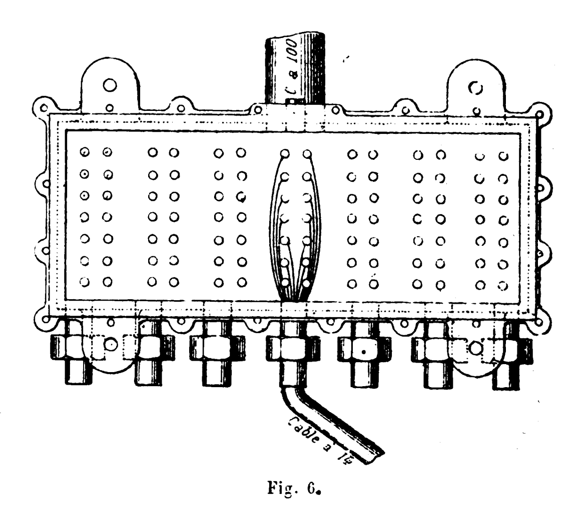


Fig. 6.

La tête pour chambres de concentration est une boite en fonte double à deux couvercles. Les bornes sont fixées sur la séparation en fonte qu'elles traversent dans un canon en ébonite comme pour la première tête. Le câble à cinquante et une paires arrive dans l'un des compartiments et les fils se distribuent sur les bornes. Les câbles à sept paires arrivent dans l'autre partie de la boîte et se raccordent de même aux bornes qui traversent la séparation.

Cette tête est munie de deux ajutages pour envoyer l'air sec, soit dans le câble à cent, soit dans les câbles à quatorze. Ce modèle de tête peut être placé dans un endroit quelconque, même humide, puisque les bornes ne sont pas apparentes.

Les câbles non paraffinés se posent comme les autres et les soudures se font par le même procédé, mais sans paraffine. Les conducteurs en cuivre sont simplement tordus ensemble, puis recouverts d'un manchon en papier, et la soudure est enfermée dans un manchon en plomb soudé sur les enveloppes de plomb des câbles raccordés. On économise d'abord le temps employé à paraffiner la soudure ; mais l'avantage principal est qu'il n'y a pas besoin de prendre des précautions minutieuses pour éviter l'humidité. Les soudures peuvent se faire partout et sont réussies à coup sûr, tandis que, lorsqu'on n'avait pas la certitude de pouvoir les rendre bonnes par un courant d'air sec, il fallait quelquefois opérer la nuit dans des égouts recevant de la vapeur d'eau de chaudières. En outre, chaque soudure paraffinée devait être essayée fil par fil au point de vue de l'isolement. Il en résultait une grande perte de temps. Par le procédé actuel, il suffit de constater d'un seul coup qu'il n'y a aucun fil complètement à la terre, c'est-à-dire qu'aucun fil ne touche le plomb ; on ne s'occupe pas de l'isolement, le courant d'air sec envoyé lorsque le câble est terminé ramène cet isolement à 6.000 méghoms en moyenne.

Indépendamment de l'essai d'isolement à chaque soudure, on doit s'assurer qu'aucun fil n'est rompu et que les conducteurs sont bien raccordés par paires ; mais ces précautions s'appliquent à tous les câbles.

Tous les câbles isolés au papier et au coton sans paraffine, ou autre isolant, peuvent être traités de même et les essais faits sur les câbles de la Fowler waring C° et de la Société industrielle des Téléphones (brevet Felten et Guillaume) ont montré que ces câbles pouvaient être desséchés à condition, bien entendu, de supprimer toute obturation aux extrémités et de changer le système des soudures, c'est-à-dire d'être transformés en câbles à circulation d'air sec.

Un avantage de la méthode, que je considère comme le plus important, est la facilité des réparations. Malgré toutes les précautions prises, les câbles peuvent être perforés, et dans ce cas la section comprise entre deux soudures paraffinées avec bouts obturés est mise rapidement à la terre. Il faut donc enlever cette section et recommencer les soudures avec toutes les précautions d'essais préliminaires, c'est-à-dire, interrompre complètement le service sur le câble et faire une dépense très importante. Si le câble est à circulation d'air sec, au contraire, il suffira de trouver la perforation en envoyant un courant d'air sec et de boucher le trou par une soudure de plombier. Il n'est pas nécessaire d'interrompre le service, car le câble peut encore fonctionner avec un isolement défectueux. On ramènera ensuite le câble à son isolement normal de 6.000 mégohms par le passage d'un courant d'air sec, pendant un temps plus ou moins long.

Il est vrai de dire que je n'ai pas eu encore l'occasion de faire une réparation de cette nature; mais on peut admettre que le procédé qui a bien réussi avec les câbles Fortin doit réussir également avec des câbles de même nature, puisqu'ils n'en diffèrent que par la

manière dont le fil est isolé et non par la nature même de leur construction.

Si au lieu d'une simple perforation de l'enveloppe sans avarie du papier qui entoure les fils, on a un accident plus grave ayant détruit cette enveloppe, il suffira, comme je l'ai fait pour les câbles Fortin, d'enlever une bague de l'enveloppe de plomb et d'isoler de nouveau les conducteurs sans les couper, en les entourant d'un ruban de coton ou de soie. On refermera ensuite l'enveloppe de plomb au moyen d'un manchon fendu qui sera soudé sur l'enveloppe.

Outre la facilité de pose et surtout de réparation, j'ai dit que l'emploi de l'air sec pouvait avantageusement remplacer l'étuve pour la fabrication à l'usine. Ce procédé est déjà appliqué aux câbles Fortin depuis quelque temps, à la suite des essais cités plus haut. L'air comprimé est fourni par une pompe et passe dans un dessécheur au chlorure de calcium analogue à celui qui a été décrit. Il est envoyé dans le câble au moment où il sort de la presse à plomb. Dans tous les câbles isolés au moyen de perles en bois, de coton ou de papier, l'enveloppe de plomb est mise autour de l'âme au moyen d'une presse hydraulique. Le plomb préalablement fondu est forcé par la presse entre deux pièces d'acier, pendant que l'âme, située au centre, est entrainée régulièrement et s'enroule sur une bobine.

L'axe de la bobine est creux et se termine d'un côté par un manchon bien alésé qui tourne à frottement doux autour de cet axe, et de l'autre côté par un ajutage réuni au câble par un tuyau en caoutchouc.

On voit que l'air peut ainsi être envoyé dans la bobine encore brûlante pendant sa fabrication même.

L'air entraîne toute l'humidité qui a pu se déposer sur les perles en bois pendant l'enfilage et le câblage ; on continue l'envoi de l'air jusqu'à complet refroidissement, lorsque la bobine est terminée, pour éviter la rentrée de l'air humide de l'atelier : car en se refroidissant l'air de l'intérieur de la bobine diminuerait de pression. Par l'application de ce procédé, on obtient facilement des isolements de 10.000 Ω par kilomètre. Les câbles en papier peuvent être fabriqués de la même manière, le papier et le bois étant de même nature chimique, et pouvant se dessécher par le même procédé. Tout au moins, l'air sec peut être employé pour obtenir un dessèchement parfait du papier et compléter l'action de l'étuve à air chaud.

Il ressort évidemment de ces expériences qu'il y a lieu d'étendre l'emploi des câbles que j'appelle « à circulation d'air sec » ; mais ma conviction est dès maintenant *qu'ils doivent absolument remplacer*, *pour les lignes en égout ou souterraines*, tous les autres câbles isolés à la gutta, ou autres diélectriques, câbles que j'appelle « pleins » par opposition.

Les premiers sont en effet plus faciles à construire et, en outre, ils coûtent bien moins cher ; mais ils sont surtout plus faciles à poser et à réparer, et de plus, ne sont pas détériorés par la chaleur.

Ce que l'on doit considérer avant tout dans un câble, c'est la facilité de sa réparation qui en assure la durée, et c'est surtout à ce point de vue que je me place en préconisant l'emploi des câbles à air sec de préférence à tous les autres. L'isolant n'est pas les perles en bois, le coton ou le papier, puisqu'ils n'isolent plus quand un peu d'air humide a pénétré dans le câble : c'est l'air sec qui est le diélectrique.

La forme sous laquelle on emploie la cellulose a donc peu d'importance à ce point de vue ; mais on doit s'en préoccuper pour obtenir un câble au meilleur marché possible.

Je crois que le papier de bonne qualité, fabriqué avec des produits à fibres longues, est plus économique que les perles en bois, et moins hygrométrique que le coton. Les câbles en papier paraissent donc préférables sous le rapport de l'économie.

La première couche de papier doit être mise autour du fil de cuivre en l'enveloppant simplement pour faciliter le passage de l'air et non pas s'enrouler en hélice. La deuxième couche, qui est nécessaire pour éviter tout contact entre les fils par suite d'un défaut du papier, peut être enroulée d'une manière quelconque. L'enveloppe de plomb doit être très épaisse et même pour les câbles à sept paires (quatorze conducteurs), il ne faut pas descendre au-dessous de 3 millimètres; pour les câbles à vingt-six paires, il serait bon d'avoir $3^{mm},25$ au moins, et pour les câbles à 51 paires, $3^{mm},5$ au moins. Une économie sur le plomb serait mauvaise, et il est facile de montrer qu'elle est d'ailleurs très faible. Le prix d'un câble peut se décomposer en deux parties :

1° Valeur des matières premières à leur entrée à l'usine;

2° Dépenses de fabrication comprenant la main-d'œuvre et les frais généraux, c'est-à-dire l'amortissement de l'usine, l'intérêt du capital engagé et les bénéfices de l'entreprise.

Pour un changement de type ne portant que sur les dimensions de l'enveloppe de plomb, on voit que seule la première partie est affectée.

Le câble Paterson à 51 paires dernier modèle a un diamètre extérieur de 48 millimètres.

Le poids du plomb est par kilomètre en kilogrammes $9(d^2 - d'^2)$ (*), d diamètre extérieur, d' diamètre intérieur en millimètres,
soit

4.860kg pour une épaisseur de 3mm

et

5.670kg pour une épaisseur de 3mm,5.

La différence est de 810 kilogrammes de plomb par kilomètre. Le plomb entre à l'usine comme matière première en saumons, c'est-à-dire valant 27 francs les 100 kilogrammes. La différence du prix n'est donc que de 220 francs environ sur une valeur actuelle du câble fabriqué de 11.000 francs par kilomètre, soit 2 p. 100.

Il y a donc tout intérêt à prendre du câble ayant une enveloppe de plomb de 3mm,5 d'épaisseur au moins.

Faisons le même calcul pour le câble à quatorze conducteurs (sept paires). Le câble actuel a un diamètre extérieur de 21 millimètres.

Pour une épaisseur de 3mm, le poids du plomb est. .	1.944kg
Pour une épaisseur de 2mm,5, on a	1.575kg
Et pour une épaisseur de 2mm, on a.	1.224kg

La différence du poids entre le premier et le deuxième type n'est que de 369 kilogrammes valant 100 francs environ, et entre le premier et le troisième de 720 kilogrammes valant 194 francs. Le câble à quatorze sous papier valant 2.000 francs (*), on voit qu'il ne serait pas avantageux de faire une économie sur l'enveloppe

(*) Le coefficient 9 est $\frac{\pi}{4} \times 11{,}4$ 11,4 étant la densité du plomb.

(*) Depuis la composition de cette note les prix des câbles sous papier ont atteint des prix plus bas :

Câble à 7 paires, cuivre de 1 millim.	1.200 francs.
Câble à 26 paires, —	3.100 —
Câble à 7 paires cuivre de 1mm,85, c'est-à-dire correspondant à 7 brins de 0,7	2.400 —

de plomb, et il est bien préférable de prendre une épaisseur de 3 millimètres.

Ces câbles peuvent facilement se poser en tranchée ; mais dans ce cas il me paraît nécessaire de les protéger contre les accidents provenant de fouilles ultérieures, mais surtout contre l'attaque du plomb par les agents chimiques contenus dans le sol. Le plomb est, en effet, détruit lentement par les acides, et le sol des grandes villes est en général acide. Le moyen qui paraît le plus pratique, serait de noyer la masse de câbles dans le bitume fondu. Ces câbles, en effet, ne sont pas détériorés par la chaleur, ce qui est une supériorité importante sur les câbles en gutta. On peut les placer dans une tranchée profonde sans craindre les changements de température.

Les câbles isolés par l'air sec sont certainement destinés à prendre une grande extension pour le service téléphonique, mais on peut très bien les employer pour le service télégraphique.

Dans ce cas, leur faible capacité, qui est si recherchée en téléphonie, devient plutôt nuisible : car elle n'oppose pas assez d'obstacles aux courants d'induction dans les circuits à simple fil. On peut remédier facilement à cet inconvénient en employant des câbles à double fil, comme en téléphonie, en prenant ainsi terre aux guérites. Il en résulterait un avantage important, celui de profiter de la capacité réduite des câbles en papier et d'éliminer entièrement les effets d'induction à l'arrivée, ce qui serait très favorable aux transmissions par les appareils rapides.

Ces câbles à circuit double seraient en même temps plus économiques que les câbles sous gutta à circuit simple de même type.

Le câble à sept circuits doubles de sept brins $0^{mm},5$, correspondant au câble à sept conducteurs sous plomb de la nomenclature, coûterait 2.500 francs le kilomètre au lieu de 3.700 francs. Le câble à sept circuits doubles de sept brins de $0^{mm},7$, correspondant au câble B à sept conducteurs sous plomb de la nomenclature, coûterait 3.180 francs le kilomètre au lieu de 4.480 francs.

Ce dernier modèle de câble serait tout indiqué comme câble de lignes à longue distance, si des nécessités de service faisaient entreprendre de nouvelles lignes de ce genre. Les lignes ainsi construites seraient moins coûteuses que les lignes de câble sous gutta et bien plus durables. Il suffirait de placer le câble à $0^{m},40$ et de le protéger économiquement contre les accidents possibles. On aurait à examiner s'il est plus économique de l'armer en l'entourant de rubans et de fils d'acier, ou s'il est préférable de le poser en le protégeant par des briques creuses ou tout autre procédé. Les câbles devraient naturellement être à double fil si on devait se servir d'appareils rapides.

Des prises d'air seraient établies à tous les 500 mètres, par exemple, et il est facile de concevoir un système de dessécheur portatif avec pompe et réservoir pour envoyer un courant d'air sec en cas de réparations.

Le dessécheur portatif pourrait se composer d'un générateur à vapeur Serpollet du modèle employé pour les tramways, mais plus faible, d'une pompe Westinghouse employant directement la vapeur pour comprimer l'air, d'un modèle analogue à celui qui est fixé sur toutes les locomotives, d'un réservoir en tôle et d'un dessécheur au chlorure de calcium formé de tubes en fer de 80 millimètres du modèle employé pour les tubes pneumatiques. Le tout serait agencé dans un fourgon

analogue aux voitures d'essai des lignes à grande distance. On pourrait aussi employer un petit moteur à pétrole avec compresseur d'air d'un modèle courant.

Enfin, et bien que je n'aie pas l'expérience de ces sortes de câbles, je crois qu'on aurait tout avantage à essayer des câbles de ce système pour les canalisations de lumière ou de transport d'énergie. Le papier en plusieurs couches épaisses, parfaitement desséché par un courant d'air, s'oppose très bien aux décharges des courants de haute tension. Si un essai de ce genre était tenté, il réussirait très probablement et je n'ai pas besoin d'insister sur l'économie de fabrication, de pose et de réparation d'un tel système de câble par rapport à ceux qui sont actuellement employés; de sorte que je suis amené à conclure que très probablement la gutta, le caoutchouc, les résines, les huiles lourdes de goudron et autres isolants seront probablement abandonnés dans un avenir plus ou moins rapproché pour la fabrication des câbles souterrains de toute espèce et que l'on emploiera de préférence des câbles à circulation d'air sec isolés à la cellulose bien desséchée, entourés d'une forte enveloppe de plomb et pouvant être réparés par le passage d'un courant d'air sec, lorsque l'enveloppe de plomb aura été percée par une cause quelconque.

Expériences de dessèchement sur un câble en papier à cinquante et une paires.

Je crois utile, en terminant, de donner des détails sur les expériences faites sur une bobine de câble Paterson, à la suite desquelles l'emploi de l'air sec comprimé a été adopté par le fournisseur pour la pose de

tous les autres câbles. Aucune précaution spéciale de fabrication n'avait été prise pour assurer le passage de l'air. La paraffine seule avait été supprimée.

La bobine de 175 mètres est essayée en arrivant de l'usine. Pour aller plus vite on prend l'isolement de tous les fils réunis ensemble par rapport au plomb et on trouve 256 mégohms pour la bobine entière. Après trois heures de passage de l'air sec à la pression de 1 kilogramme l'isolement mesuré comme ci-dessus est de 2.270 Ω. Cette première expérience est très importante, elle prouve d'abord que l'air peut passer avec assez de facilité et que son emploi améliore notablement l'isolement du câble.

Dans une deuxième expérience, la bobine est raccordée à un bout de 10 mètres, la soudure est faite en recouvrant chaque torsade des fils de cuivre d'un manchon de papier; mais au lieu de noyer le tout dans la paraffine bouillante on laisse la soudure à l'air libre. L'isolement de l'ensemble des fils est de 500 Ω.

La soudure est ensuite mouillée abondamment et recouverte d'un manchon de plomb soudé sur les extrémités de chaque section, tous les fils sont presque à la terre, l'isolement de l'ensemble n'étant que de 1.000 ohms. On fait passer le courant d'air sec à la pression de 1 kilogramme; après deux heures, l'isolement de l'ensemble est 6.250 ohms et après quarante et une heures, 4.200 mégohms.

Le câble est devenu excellent et cette expérience prouve qu'une soudure mise accidentellement à la terre peut facilement être réparée par un courant d'air sec, et que l'emploi de la paraffine peut être avantageusement supprimé.

Dans une troisième expérience, on a mis 1 litre

d'eau dans le câble, et après quarante-trois heures l'isolement de l'ensemble a été de 6.300 Ω.

Enfin, dans une quatrième expérience, on a versé 10 litres d'eau dans la tête. Cette eau s'était répandue dans tout le câble, et l'isolement de l'ensemble des fils par rapport au plomb n'était plus que de 5 ohms. Cette résistance fut mesurée par la méthode de Mance pour la résistance intérieure des piles ; car l'ensemble des fils de cuivre, de l'eau et du plomb formait un élément dont la force électromotrice était de 0,4 volt.

On a fait passer l'air à la pression de 3 kilogrammes. La tête n'était pas étanche et il s'en perdait beaucoup, de sorte que le débit d'air ne peut être évalué exactement. Après quarante-huit heures on n'a constaté aucune amélioration, mais l'extrémité du câble est restée sèche et il ne sortait pas d'eau à l'état liquide.

Après soixante-douze heures, l'isolement entre l'ensemble des fils et le plomb était de 10 ohms.

Au bout de huit jours l'isolement était de 300 ohms pour l'ensemble, mais il n'y a pas eu d'amélioration pendant deux jours.

Au moyen du flacon à acide sulfurique et de deux pesées successives, j'ai constaté que l'air sortait sec du câble. Il n'entraînait donc plus d'humidité. Les fils ont été essayés individuellement. Quelques-uns étaient bons et d'autres mauvais.

A ce moment, le passage de l'air fut suspendu pendant deux jours par suite de réparations à la canalisation Popp et, après ce repos, l'isolement de l'ensemble est remonté à 15.000 ohms. Ce résultat rapproché de l'essai individuel des fils m'a fait supposer qu'il restait de l'eau dans la partie inférieure du câble. Les spires étaient en effet horizontales parce que la bobine était

couchée à plat, et il était probable que l'air passait au-dessus, sans entraîner de vapeur d'eau. J'ai fait redresser la bobine, et ce mouvement a fait remonter l'isolement de l'ensemble à 4.400 ohms.

L'hypothèse précédente était probablement exacte et, à partir de ce moment, l'isolement a augmenté rapidement. En raison des fuites, la pression a été réduite à 1 kilogramme, et on a constaté à partir du chiffre de 4.400 ohms :

Après	6 heures	8.000 ohms	pour	l'ensemble
	24 —	15.000	—	—
	48 —	75.000	—	—
	54 —	125.000	—	—
	72 —	3mégohms,750		—
	79 —	40 mégohms		—
	120 —	180	—	—
	144 —	400	—	—

L'isolement de chaque fil, par rapport à tous les autres remis à l'enveloppe de plomb était de 7.000 Ω, soit 1.100 par kilomètre. La bobine était très bonne. L'expérience a été arrêtée parce qu'on a eu besoin du dessécheur pour d'autres câbles.

La consommation d'air n'a pu malheureusement être évaluée exactement, en raison des fuites et aussi parce que le compteur marchait irrégulièrement. Cette consommation varie d'abord beaucoup avec la nature et la longueur du câble. Le compteur a indiqué 1.000 mètres cubes qui doivent être multipliés par 3, pour avoir le volume à la pression atmosphérique (d'après les indications portées sur le cadran de l'appareil).

Sur ce chiffre de 3.000 mètres cubes, une grande partie a été inutilisée, en raison des fuites.

Si l'air était sorti saturé de vapeur d'eau, il aurait

enlevé 15 grammes d'eau par mètre cube (poids de la vapeur contenue dans 1 mètre cube à la température de 20°) ; il aurait donc fallu seulement 666 mètres cubes pour enlever les 10 kilogrammes d'eau.

Mais, indépendamment des fuites, il faut remarquer que l'air ne sort pas saturé, surtout à la fin de l'expérience.

Quoi qu'il en soit, il était démontré qu'on pouvait dessécher un câble isolé au papier, même après une mise à la terre complète par introduction d'une grande quantité d'eau.

Si on avait voulu aller plus vite et dépenser moins d'air, on aurait ouvert une fenêtre dans le plomb du câble à une certaine distance de la tête, de sorte qu'on n'aurait pas forcé la vapeur d'eau à traverser toute la longueur de la bobine ; mais il s'agissait d'une expérience, et il fallait se mettre dans les conditions les plus défavorables pour être sûr que si elle réussissait, le procédé serait applicable en ligne.

A. BARBARAT.



APPAREIL COMMUTATEUR MANDROUX

A CONVERSATIONS SECRÈTES

Objet. — Le système de tableau téléphonique, à conversations secrètes, réalisé par M. Mandroux, inspecteur aux ateliers de l'Administration des Télégraphes, a pour objet de constituer un poste téléphonique central, dans lequel l'opérateur exécute les différentes opérations dont se compose le service normal, sans qu'aucune manœuvre des touches ou des fiches lui permette de surprendre les conversations qui s'échangent d'abonné à abonné.

Utilité. — Le problème se pose plus particulièrement dans certains cas particuliers où il n'importe pas, comme dans le service téléphonique ordinaire, que les opérateurs puissent se mettre à tout moment en communication avec les abonnés.

Description des pièces. — Les pièces détachées qui constituent le tableau à conversations secrètes ont la plus grande analogie avec celles des tableaux ordinaires du même inventeur. Le système d'enclenchement des touches est conservé.

A la partie supérieure du panneau se trouvent les cordons souples à double fil reliés directement aux lignes des abonnés.

Ces cordons sont terminés par des fiches qui, dans la position d'attente, sont enfoncées chacune dans le

trou du bloc de repos qui leur est affecté. Au-dessous se trouve la rangée des jacks (*fig.* 1 et 2), puis celle des annonciateurs d'appel qui servent en même temps d'annonciateurs de fin de conversation. A la partie inférieure est situé le clavier (*fig.* 3) qui porte une série de commutateurs à trois ressorts correspondant à chaque annonciateur. L'appareil porte encore un bouton d'appel. Enfin un poste microtéléphonique d'opérateur lui est annexé.

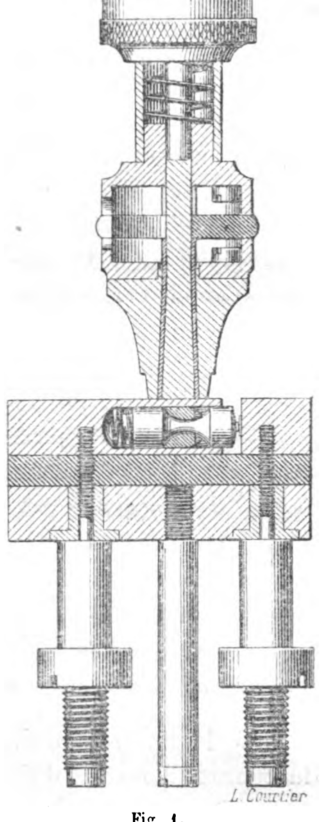
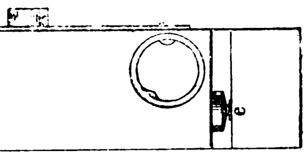


Fig. 1.


Fig. 2.

Manœuvres. — Les opérations se succèdent dans l'ordre suivant : le volet d'un annonciateur tombe, l'opérateur abaisse la touche correspondante, il cause avec l'abonné, il abaisse la touche de l'abonné demandé, il presse sur le bouton d'appel pour le sonner, et dès qu'il sait l'abonné demandé à l'appareil, il porte la fiche qui correspond à ce second abonné dans le jack du premier ou bien il porte la fiche du premier abonné dans le jack du second. Il est indifférent d'opérer de l'une ou de l'autre manière. Il peut, soit avant, soit après cette

opération, ramener à la position d'attente la touche du clavier au moyen d'un levier spécial bien à la main. Lorsque ensuite le signal de fin de conversation a fait déclencher l'annonciateur, l'opérateur remet les fiches dans les blocs de repos.

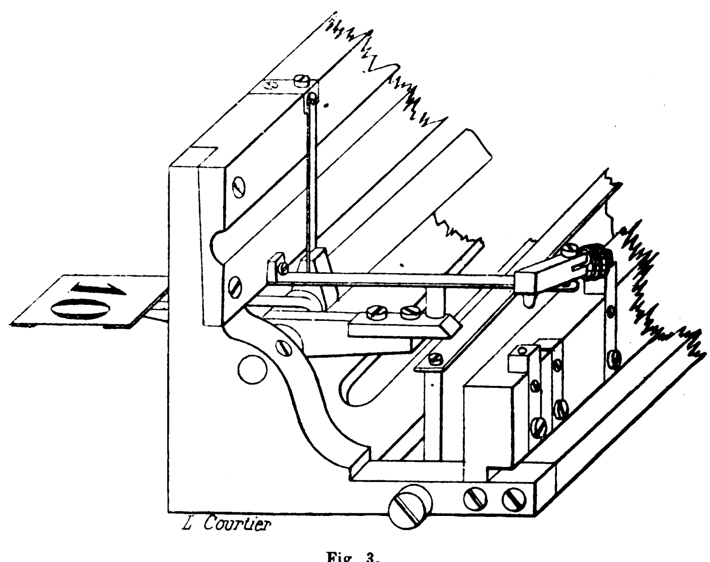


Fig. 3.

Nous décrirons la position des ressorts et la marche du courant dans ces différents cas. Puis nous examinerons les points où le poste d'opérateur est isolé du circuit en activité, lorsque l'opérateur, au lieu de faire les manœuvres normales, abaisse plusieurs touches ou bien met les fiches incorrectement, et comment l'appareil se prête à certains contrôles.

Description des contacts variables. — Il faut savoir tout d'abord que les deux fils d'une ligne sont reliés aux deux brins du cordon souple correspondant, de sorte qu'elle se termine réellement aux deux par-

ties métalliques de la fiche; il n'y a jusqu'à ce point aucune dérivation possible : la ligne est isolée quand la fiche est en l'air.

L'annonciateur (*fig.* 4) est en dérivation entre les deux plots du jack et ne cesse d'être ainsi que lorsque la touche correspondante est abaissée; la dérivation est alors rompue en *a*. L'abaissement de la touche (*fig.* 3 et 4), en fermant les contacts *b* et *c*, met en relation avec les deux brins de la ligne les deux fils qui vont au poste d'opérateur. L'enfoncement d'une fiche dans le jack supprime le contact *e* (*fig.* 1 et 2) et, dans le cas où la touche correspondante serait abaissée, empêcherait ainsi le fil 1 de la ligne de communiquer avec le fil 1 du poste d'opérateur. A noter cette particularité que l'enfoncement de la fiche dans le trou du jack n'empêche pas l'annonciateur de rester en dérivation.

Principe de l'appareil. — Voici maintenant le point essentiel du système : la communication ne peut être établie entre la ligne A et la ligne B que si la fiche de l'une des deux lignes est placée dans le trou d'un des blocs de repos, tandis que la fiche de l'autre ligne est placée dans le trou du jack situé au-dessous de ce bloc.

Dans cette position, le contact *e* du jack étant rompu, le circuit des lignes A, B est séparé et isolé du poste téléphonique d'opérateur. Il suffit d'ailleurs pour faire cesser cette situation d'introduire en *e* une lame de couteau rétablissant le contact et d'appuyer sur la touche correspondante; mais des précautions pourront être prises dans les constructions ultérieures pour empêcher cette fraude, si la mesure paraissait indispensable.

Marche des courants :

1° Courant d'appel : ligne; 1, fiche; 2, bloc de re-

pos, lame antérieure; 3, jack, lame antérieure;

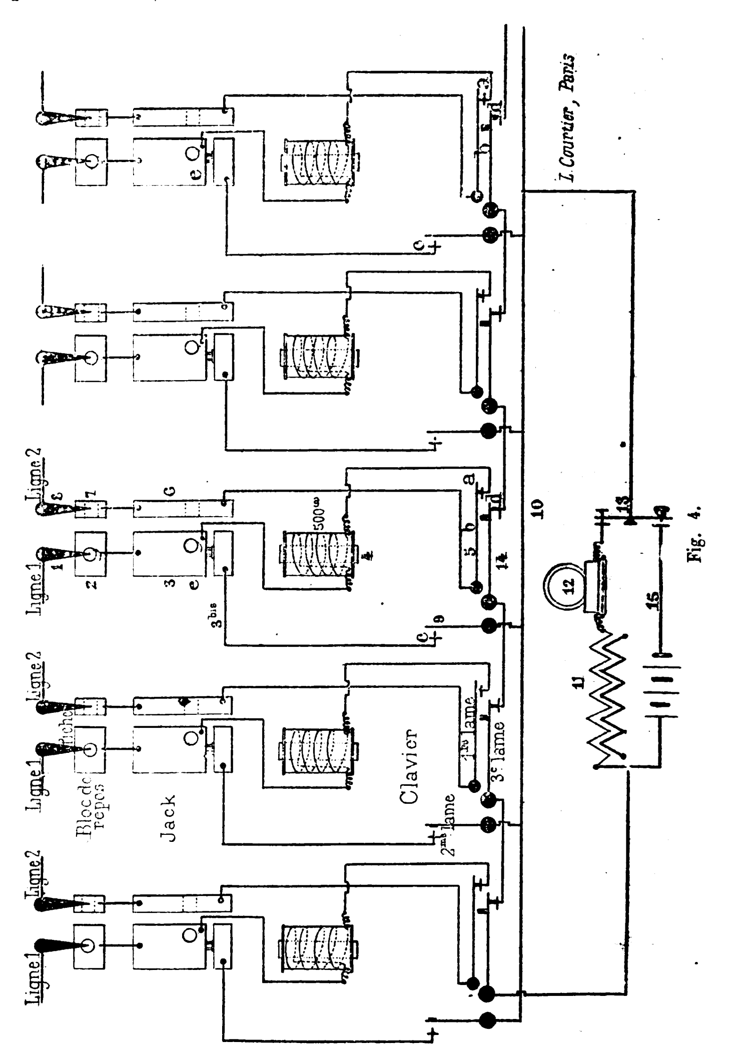


Fig. 4.

4, annonciateur; 5, première lame du clavier; 6, lame postérieure du jack; 7, partie postérieure du bloc de

repos; 8, fiche (brin intérieur). — L'annonciateur déclenche.

Observations. — Dérivations diverses : contact *e*, 3bis. partie inférieure du jack en communication avec le butoir du contact *c* qui est *isolé.*

2° *Conversation de l'abonné avec l'opérateur du poste central. Marche du courant.* — 1, 2, 3. contact *e;* 3bis. contact *c;* 9. deuxième ressort lame du clavier; 10, 11. bobine d'induction; 12. téléphone; 13. clé d'appel, troisième ressort lame du clavier pour la première touche, contact *d* de la première touche, puis troisième ressort lame du clavier pour la seconde touche, contact *d* de la seconde touche et ainsi de suite par une série de contacts *d* successifs jusqu'à la touche du clavier qui est abaissée et qui, par hypothèse, correspond à l'annonciateur en cause; enfin 14. troisième lame de ladite touche, contact *b* entre la troisième touche et la première 5, 6, 7, 8 et le poste d'abonné.

Dérivations diverses. — A partir du jack par 3, 4 et contact *a*, isolé quand la touche est abaissée (l'annonciateur est donc hors circuit.) A partir du fil 10, dérivation vers tous les seconds ressorts lames des touches et les contacts *c*, rompus quand la touche n'est pas abaissée. A partir du fil 10 sur la pile d'appel 15, dérivation isolée dans la position d'attente de la clé d'appel.

3° *Courant émis par l'opérateur pour appeler un abonné.* — Comme ci-dessus le circuit 15 de la pile d'appel remplace le circuit 11, 12 du téléphone.

4° *Conversation d'abonné à abonné.* — Marche du courant, la fiche du second abonné étant enfoncée dans le jack du premier. Ligne du premier abonné, puis fiche 1, 3, fiche du second abonné, ligne et poste de

ce second abonné, retour par le second brin de la fiche du second abonné 6, 7, 8.

Dérivation. — A partir de 3 par 4, 5, 6, l'annonciateur, qui a 500$^{\omega}$ de résistance, reste donc en dérivation, prêt à recevoir le signal de fin de conversation, mais il ne nuit pas du tout à l'audition.

Observation. — Si la touche correspondante est abaissée, l'annonciateur est mis hors circuit, le contact *e* isole l'opérateur, la communication subsiste toujours entre les deux abonnés.

Manœuvres incorrectes, abaissement simultané de deux touches. — Nous terminerons en faisant remarquer que si la fiche de l'abonné, dans la situation d'attente, est mise dans le jack au lieu du bloc de repos, le courant d'appel arrive tout de même à l'opérateur; mais alors le contact *e* est rompu, isolant le téléphone de l'opérateur.

Ce qui précède fait suffisamment comprendre que l'abaissement simultané de deux touches ne permettrait pas non plus à l'opérateur d'épier une conversation en cours.

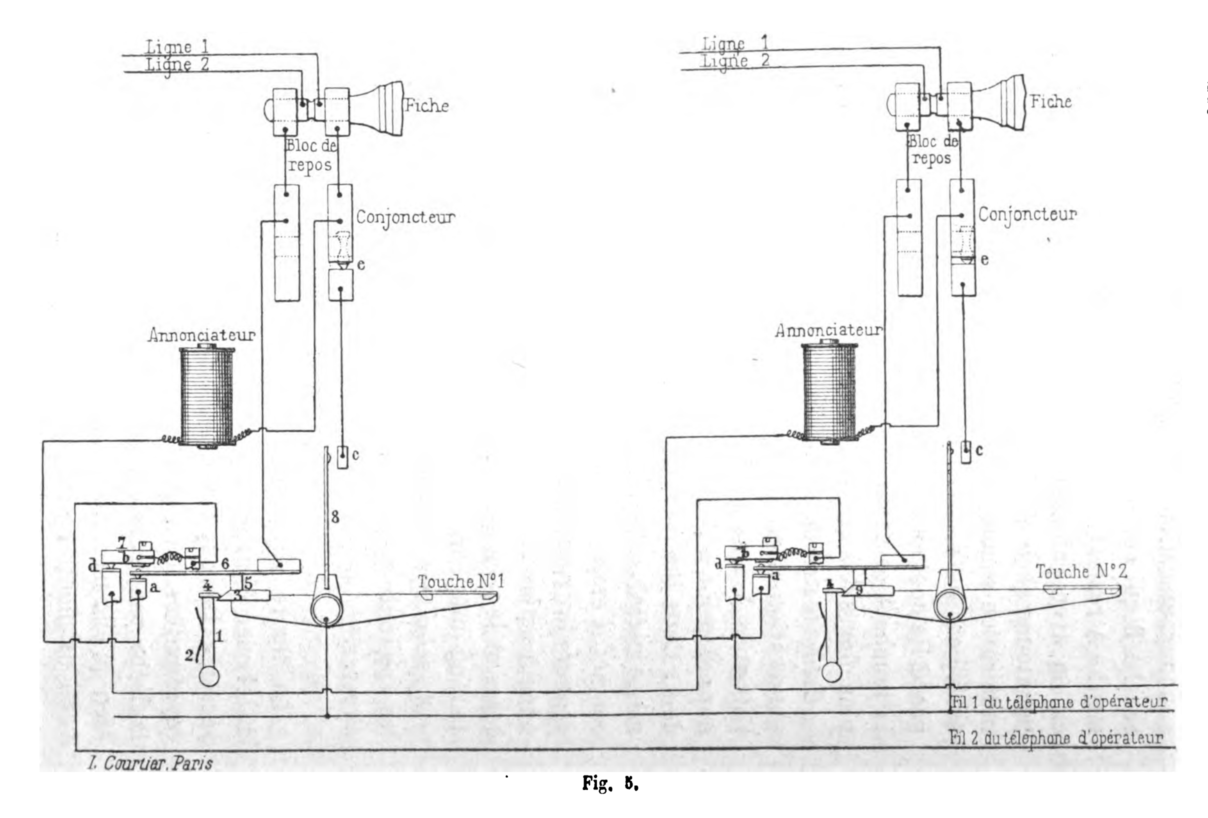
En effet, si le contact *d* n'était pas rompu au moment de l'abaissement de la touche correspondante, il suffirait pour épier une conversation d'abaisser simultanément les deux touches correspondant aux deux abonnés. On sait que l'appareil permet cette position : en général, si la touche A est abaissée et qu'on abaisse la touche B, la touche A revient au repos par le fait de ce second mouvement, mais il suffit de maintenir avec un doigt la touche A abaissée, pour que le jeu du ressort de la réglette bien connue des claviers Mandroux demeure sans effet; en relevant la main, les deux touches demeurent abaissées. Si donc j'abaisse la touche A, je me mets

en communication avec l'abonné A; si j'abaisse la touche B qui correspond à un numéro plus élevé, la touche A revient en place et je me mets en communication avec l'abonné B; mais si la touche A a été maintenue abaissée, je ne me mets pas ainsi en communication simultanée avec A et avec B, mais je reste seulement en relation avec A, car le circuit qui comprend les contacts *d* successifs est rompu au droit de la touche A et ne se continue plus vers les numéros plus élevés tels que B.

Contrôle des communications intérieures. — Dernière observation. Rien n'empêche de mettre la fiche de l'abonnée A dans le bloc de repos qui correspondrait normalement à l'abonné B, et celle de B dans le bloc de A. Cette interversion est sans inconvénient et donne même certains moyens de contrôle. Par exemple, si un contact *d* était mauvais, on pourrait momentanément donner la communication entre deux abonnés de numéros plus élevés, en les réunissant par le bloc de repos et le jack qui correspondent à un annonciateur de rang inférieur.

Appel direct. — Ajoutons qu'on peut combiner aussi les appareils pour permettre l'application de l'appel direct.

La figure ci-jointe représente la coupe théorique du clavier Mandroux pour appareil à conversations secrètes. Deux touches, les touches n°s 1 et 2, y sont représentées. La réglette 1 repoussée dans le sens de la flèche par le ressort 2 y est représentée deux fois, bien qu'elle ne forme qu'une pièce unique, mais nous voulions montrer son jeu par rapport aux diverses touches.



Ligne 1
Ligne 2
Fiche
Bloc de repos
Conjoncteur
Annonciateur
Touche N°1
Ligne 1
Ligne 2
Fiche
Bloc de repos
Conjoncteur
Annonciateur
Touche N°2
Fil 1 du téléphone d'opérateur
Fil 2 du téléphone d'opérateur
I. Courtier, Paris

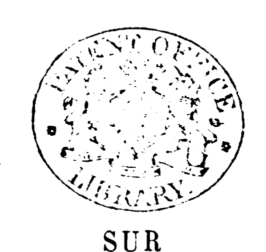
Fig. 5.

Lorsqu'on abaisse la touche n° 1, le biseau 3 repousse l'arrête du biseau 4 ; le mouvement d'ascension continuant, le ressort 2 ramène la réglette 1 à sa position de repos. Lorsque le doigt quitte la touche n° 1; la partie inférieure de 3 vient reposer sur la réglette et le bloc en ébonite 5 repousse les ressorts 6 et 7; en même temps, le ressort 8 vient sur contact. On a vu l'objet de ces déplacements.

Supposons maintenant que l'opérateur abaisse la touche n° 2, la réglette est repoussée en arrière ; à une certaine phase de ce mouvement, le biseau 3 de la touche n° 1 appuie sur le petit plan incliné 4, alors l'action concordante des ressorts 7, 6 et 8 devient au dernier moment prépondérante contre l'action du ressort 2. Celui-ci cède, la réglette est chassée en arrière et la touche n° 1 retombe; mais la touche n° 2 est retenue par le doigt qui presse sur elle. Lorsque la réglette est revenue au repos, le doigt lâche la touche n° 2, et la partie inférieure de la pièce 9 vient prendre appui sur le plat de 4. Les communications sont établies avec le n° 2 comme elles l'étaient, il y a un instant, avec le n° 1. Tel est le jeu de la réglette Mandroux.

J.-B. POMEY.





SUR

LA PROPAGATION DE L'ÉLECTRICITÉ

LE LONG DES CONDUCTEURS (*)

Considérons un système de conducteurs cylindriques, indéfinis, et tous parallèles entre eux ; supposons qu'ils soient le siège de courants, variant très rapidement, par exemple, de courants alternatifs de très haute fréquence, ou de courants analogues à ceux qui accompagneraient la charge instantanée d'une portion de ces conducteurs.

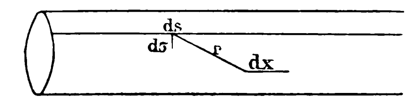
On sait que ces courants pénètrent d'autant moins profondément dans les conducteurs que leurs variations sont plus rapides et la résistance spécifique moins élevée. Lord Kelvin, entre autres, a particulièrement insisté sur l'identité de la loi suivant laquelle le courant varie avec la profondeur, et celle de la loi de la distribution des températures dans un métal dont la surface serait aussi soumise à des variations de température.

Nous supposerons que les courants sont entièrement superficiels, hypothèse extrême, mais nécessaire pour arriver à un résultat net.

L'axe des x étant choisi parallèle aux génératrices de ces cylindres conducteurs, on désignera par x

(*) *Journal de physique*, 3, t. III. Mars 1894.

l'abscisse d'un point à l'intérieur de ce conducteur, par s celle d'un point de la surface de ceux-ci, par r la distance du point (x) à un point (s).



Le contour de la section droite des conducteurs est supposé divisé en éléments infiniment petits $d\sigma$; $id\sigma$ sera l'intensité du courant qui traverse l'élément $d\sigma$; i est positif quand le courant est dirigé vers la partie positive de l'axe des x et $q\,ds\,d\sigma$ sera la charge de l'élément de surface $ds\,d\sigma$.

Entre i et q, on a la relation (i et q sont fonctions de s, des autres coordonnées et du temps) :

$$(1) \qquad \frac{\partial i}{\partial s} + \frac{\partial q}{\partial t} = 0,$$

qui exprime que le gain de la charge pendant le temps dt est l'excès de la quantité d'électricité $id\sigma\,dt$ entrée sur la quantité sortie $\left(i + \frac{\partial i}{\partial s}\,ds\right)\,d\sigma\,dt$.

Ceci posé, la condition pour que le courant soit et reste nul à l'intérieur du conducteur est que la force électromotrice induite soit égale à la force électrostatique changée de signe, ou si V est le potentiel en un point intérieur, que l'on ait

$$\frac{\partial V}{dx} = -\frac{\partial}{dt}\sum \frac{i\,ds}{r}\,d\sigma,$$

le signe Σ s'étendant à tous les éléments superficiels des conducteurs.

Digitized by Google

On en déduit :

$$\frac{\partial^2 V}{dx^2} = -\frac{\partial}{dt}\sum i \frac{\partial}{dx}\left(\frac{1}{r}\right) ds\, d\sigma.$$

Mais on voit que

$$\frac{\partial}{dx}\left(\frac{1}{r}\right) = -\frac{\partial}{ds}\left(\frac{1}{r}\right).$$

Si donc on étend la sommation d'abord à tous les éléments d'un même courant ayant même projection $d\sigma$ sur le plan des yz, on aura à calculer :

$$\int i \frac{\partial}{ds}\left(\frac{1}{r}\right) ds = -\int \frac{1}{r}\frac{\partial i}{ds} ds,$$

en intégrant par parties, ou à cause de l'équation (1) :

$$\int i \frac{\partial}{dx}\left(\frac{1}{r}\right) ds = \int \frac{1}{r}\frac{\partial q}{dt} ds = \frac{\partial}{dt}\int \frac{q\, ds}{r};$$

d'où l'on déduit enfin, en prenant en considération tous les éléments $d\sigma$ et, par suite, la surface entière des conducteurs :

$$\frac{\partial^2 V}{dx^2} = \frac{\partial^2}{dt^2}\sum \frac{q\, ds\, d\sigma}{r}.$$

Or, dans le système électro-magnétique de mesures, le Σ du second membre est le quotient du potentiel par V^2, si V est le rapport des unités ; on arrive donc à l'équation :

$$V^2 \frac{\partial^2 V}{dx^2} = \frac{\partial^2 V}{dt^2},$$

qui exprime que le potentiel se propage le long des conducteurs avec la vitesse V.

Les conditions théoriques dans lesquelles on s'est placé sont nécessaires pour que les mots *vitesse de*

propagation le long d'un conducteur aient un sens précis.

Cependant, si l'on considère une perturbation n'occupant qu'une petite longueur sur un conducteur courbe, l'axe des x sera remplacé par une courbe, et l'équation fondamentale devient $\frac{\partial V}{dx} = -\frac{\partial}{dt}\sum\frac{ids\cos\varepsilon}{r}$; et l'on pourra dire encore que le potentiel se propage avec la vitesse v, si i s'annule dès que $\cos\varepsilon$ diffère de l'unité, ou ε de zéro (ε est l'angle de dx et de ds), ce qui aura lieu si i, q, V n'ont de valeur appréciable que sur une petite longueur.

Il résulte, comme on sait, de l'équation ci-dessus, qu'une charge brusquement communiquée à un point d'un fil se propagera à droite et à gauche avec la vitesse V, donnant lieu, si le fil n'est pas indéfini, à des réflexions aux extrémités. Si l'on considère seulement la propagation dans un seul sens, i et q sont des fonctions de $(s - vt)$ et l'on a immédiatement $i = vq$. Calculant alors les forces électriques et électro-magnétiques en dehors du conducteur, on trouve pour les composantes de la première :

$$X_e = 0, \quad Y_e = -\frac{\partial V}{\partial y}, \quad Z_e = -\frac{\partial V}{\partial z};$$

et pour la seconde :

$$X_m = 0, \quad Y_m = -q\frac{\partial V}{\partial z}, \quad Z_m = q\frac{\partial V}{\partial y}.$$

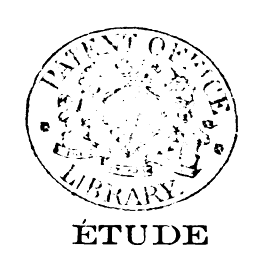
Elles sont donc perpendiculaires aux génératrices et entre elles; la première est radiale, la seconde tangentielle; leur rapport est constant et égal à v. On retrouve ainsi des caractères communs à la théorie de Maxwell et à celle de Weber; et une vérification

expérimentale qui ne porte que sur l'un de ces caractères (telles les dernières et belles recherches de M. Blondlot), ne peut être considérée comme un *experimentum crucis*.

Les deux théories ne conduisent pourtant pas à des solutions identiques; si l'on applique successivement ces deux hypothèses, dans la théorie de Maxwell, les deux forces sont nulles en un point extérieur au conducteur, tant que la charge n'a pas atteint la projection de ce point sur les génératrices; dans l'autre, les deux forces auraient une valeur différente de zéro, quelle que fût la position de la charge.

Le calcul ci-dessus n'est donc pas présenté dans le but de montrer que le choix entre les deux systèmes est indifférent, mais afin d'appeler l'attention sur la nécessité, dans l'état actuel de la science ou plutôt de l'enseignement, de distinguer avec soin, parmi les faits expérimentaux, ceux qui sont inconciliables avec l'ancienne théorie.

A. Potier.



ÉTUDE

DE LA

POLARISATION SUR UNE CLOISON MINCE EN MÉTAL

PLACÉE DANS UN VOLTAMÈTRE

Le *Philosophical Magazine* publie, dans son numéro de février 1894, une très intéressante étude de M. John Daniel sur la polarisation d'une mince feuille de métal séparant en deux parties un voltamètre. Ces expériences avaient déjà été indiquées par le docteur L. Aron, de l'Université de Berlin. Sous la direction de ce dernier et de M. Kundt, M. Daniel s'est proposé d'étudier les problèmes suivants :

1) Rechercher par des mesures quantitatives s'il existe une épaisseur critique au-dessous de laquelle il n'y a pas de polarisation sur la cloison, et, dans ce cas, déterminer cette épaisseur.

2) Déterminer, dans le même cas, l'autre épaisseur critique pour laquelle la polarisation est aussi grande que pour des plaques épaisses.

3) Mesurer la polarisation, avec la même intensité de courant, pour des plaques d'épaisseur comprise entre ces deux limites.

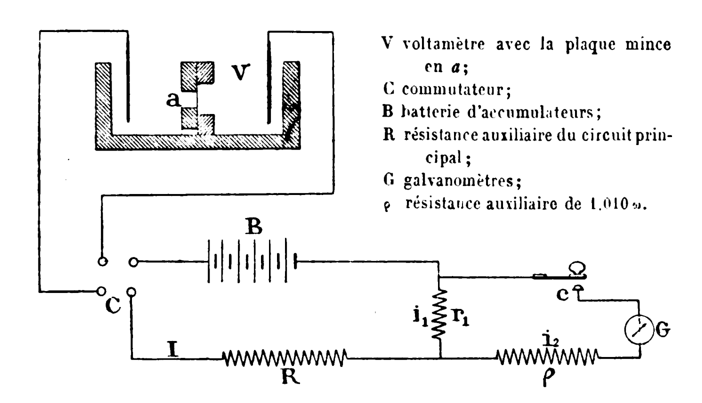
4) Déterminer, dans chaque cas, la relation entre la polarisation et l'intensité du courant, quand on fait varier celle-ci.

5) Rechercher, pour une intensité donnée, comment varie la polarisation avec le temps.

Appareils. — Le voltamètre primitivement adopté se composait d'un vase rectangulaire en verre de 18×6 centimètres et 8 de profondeur portant en son milieu une coulisse en caoutchouc durci scellée avec de la cire à cacheter ; dans cette glissière pouvaient s'introduire des plaques de verre percées d'une ouverture circulaire sur laquelle était collée la plaque mince de métal. Cette disposition permettait de changer facilement et rapidement les plaques ; mais la cloison n'étant pas hermétique, il se produisait sur le pourtour de la plaque de verre une dérivation de courant qu'on évita par l'emploi du dispositif suivant, finalement adopté.

Le voltamètre se compose d'un vase en verre de 20×12 centimètres et 11 de profondeur ; au milieu est fixée par de la cire à cacheter une plaque de verre de 3 millimètres d'épaisseur, portant en son milieu un trou de 2 centimètres de diamètre. Une plaque plus petite, percée d'un trou de $1^{cm},5$ de diamètre, est scellée sur cette ouverture, la feuille de métal étant préalablement fixée sur la petite plaque. On a ainsi deux compartiments étanches qui n'offrent de communication électrique qu'au travers de la feuille métallique. Les électrodes sont en platine platiné de 4×5 centimètres et $0^{mm},1$ d'épaisseur, sauf avec le sulfate de cuivre pour lequel on employait des électrodes en cuivre. Nous croyons inutile d'entrer dans des détails sur la fixation de la feuille de métal, opération assez délicate pour les feuilles d'or très minces.

La figure ci-contre donne la disposition de l'expé-ence :



Le galvanomètre G était placé en dérivation sur une résistance r_1 qu'on faisait varier de façon à maintenir toujours la même déviation; c'était un galvanomètre à quatre bobines de 22 ohms de résistance chacune, placé sur un pilier en pierre; les déviations étaient lues avec une lunette sur une règle divisée en millimètres, placée à $1^m,50$; une division de l'échelle équivalait à 265×10^{-9} ampères.

Soient v la résistance du voltamètre, mesurée avec le pont du P. O., en se servant d'une bobine d'induction et d'un électro-dynamomètre par la méthode bien connue, e la force contre-électromotrice due au voltamètre, x celle due à la plaque mince; voici comment on faisait une mesure.

On mettait le voltamètre en circuit, la séparation étant ouverte; on avait alors :

$$I = \frac{E - e}{R + \dfrac{1}{\dfrac{1}{r_1} + \dfrac{1}{G + \rho}} + v} = \frac{E - e}{W},$$

en désignant par W le dénominateur.

On mettait ensuite la plaque mince et on ramenait

le courant à son intensité primitive en diminuant de w la résistance R; alors :

$$I = \frac{E - e - x}{W - w}.$$

Finalement, on enlevait le voltamètre du circuit et il fallait ajouter w_1 à R pour ramener l'intensité I :

$$I = \frac{E}{W + w_1 - v}.$$

On déduit facilement de ces formules :

$$e = I(w_1 - v) \qquad x = Iw.$$

On a ainsi les deux quantités cherchées e et x, en fonction des variations w et w_1 de R et de l'intensité I mesurée par la méthode potentiométrique sur la résistance r_1.

Liquides employés. — Avec le premier voltamètre, on a fait quelques mesures qualitatives avec de l'acide sulfurique à 30 p. 100, 5 p. 100 et très dilué, donnant des résistances de 20, 60 et 100 ohms environ. Pour le nouveau, on a employé :

			Ohms.
3 p. 100	d'acide sulfurique.	Densité = 1,22.	$v =$ 1,1
»	de sulfate de cuivre.	» = 1,12.	$v =$ 24,5
»	de sel marin.	» = 1,12.	$v =$ 5,5

et pour quelques observations :

30 p. 100	d'acide sulfurique.	Densité = 1,02
»	de potasse.	» = 1,11

ainsi que de l'acide sulfurique très dilué.

Métaux. — On s'est servi de feuilles de platine, d'or, d'argent et d'aluminium. Les épaisseurs étaient soit mesurées directement quand l'épaisseur était assez grande, sinon déduites de la connaissance de la sur-

face, du poids et de la densité. Les feuilles d'or très minces étaient en alliage à 0,925.

Les épaisseurs employées ont été ($\mu = 1$ micron).

Platine . . .	100 μ; 2 μ; 0,152 μ; 17,3 μ; 4,07 μ.
Argent.. . .	2,3 μ.
Aluminium.	400 μ; 0,51 μ.
Or.	250 μ; 47,2 μ; 24,1 μ; 4,33 μ; 1,83 μ; 0,586 μ; 0,382 μ; 0,087 μ.

L'auteur n'a pu, à son grand regret, se procurer une série de feuilles de platine aussi complète que celle des feuilles d'or qui lui ont été livrées par M. Müller, de Dresde.

Voici le résumé des résultats obtenus :

1) Dans l'acide sulfurique, bon conducteur, la polarisation sur une feuille d'or est nulle ou trop petite pour être mesurée.

2) L'épaisseur critique, dans des solutions conductrices d'acide sulfurique, de sulfate de cuivre, de sel marin, est plus grande que 0,09 μ pour l'or, 0,15 μ pour le platine, 0,04 μ pour l'aluminium, dans les conditions ci-dessus; elle est moindre que 0,4 μ pour l'or, 2 μ pour le platine et 2 μ pour l'argent.

3) La limite critique supérieure semble être environ 4 μ.

4) Entre les épaisseurs critiques, la polarisation pour un courant donné croît avec l'épaisseur.

5) Dans les plaques épaisses, la polarisation semble la même pour toutes les intensités de courant entre 0,1 et 2 ampères, du moins quand l'intensité est devenue constante; pour les feuilles minces, au contraire, la courbe que représente la polarisation en fonction de l'intensité est sensiblement une droite passant par l'origine dans les limites des courants employés.

6) Une distinction semblable peut être faite pour le temps que met la polarisation à devenir constante, lequel est plus faible pour les feuilles minces que pour les feuilles épaisses.

7) On a constaté, notamment dans le cas du sulfate de cuivre, qu'il y avait polarisation sur la feuille d'or si elle était en contact avec l'électrolyte à quelque distance au-dessus du bord du trou fait dans la plaque de verre sur laquelle elle était fixée. Ainsi, dans le sulfate de cuivre, pour le plus fort courant employé, il y avait un dépôt de cuivre symétrique, allant en décroissant de la circonférence au centre et s'évanouissant à une certaine distance du bord de l'ouverture, distance d'autant plus petite que le courant était plus intense. Ce phénomène a été établi d'une autre façon en suspendant dans la cloison ouverte une bande épaisse d'aluminium de 4 centimètres de longueur, recourbée en forme de U. Les deux extrémités de l'U étant en contact avec le sulfate des deux côtés du verre à 2 centimètres du bord de l'ouverture, il y avait dépôt de cuivre sur l'une et dégagement d'oxygène sur l'autre.

8) Dans le sulfate de cuivre, toutes les feuilles, sauf celles dont l'épaisseur était moindre que l'épaisseur critique, étaient détruites par oxydation. La feuille d'argent était rongée en moins d'une minute. De même, les feuilles d'or et d'argent, au-dessus de l'épaisseur critique, ne pouvaient être employées dans le sel marin, à cause de l'action chimique, bien que les feuilles les plus minces n'y fussent nullement altérées.

9) Les feuilles d'or épaisses étaient très fortement oxydées dans l'acide sulfurique, surtout avec les courants intenses; les feuilles minces ne l'étaient sensiblement que sous l'action d'un courant intense et très pro-

longé. L'argent était plus facilement oxydé que l'or. Quant à l'aluminium, il l'était si rapidement qu'on n'a pu faire aucune mesure, bien que toutefois les feuilles minces fussent inaltérées.

10) Dans l'acide sulfurique, après des mesures sur la polarisation en fonction du temps faites avec une feuille épaisse d'or, la cathode a été trouvée dorée. En substituant, dans la même solution et pour la même mesure, une feuille épaisse de platine à la feuille d'or, celle-là fut également dorée, et la polarisation fut trouvée, dans ce dernier cas, un peu plus petite que dans une expérience ultérieure, faite avec une solution neuve, après nettoyage et replatinage des électrodes terminales.

11) Dans le sulfate de cuivre, avec des électrodes en cuivre, la polarisation atteignait très rapidement son maximum et restait très constante. Ce maximum était à peine 75 p. 100 de la polarisation dans l'acide sulfurique. Le même fait se produisait dans le sel marin, mais la polarisation y était franchement plus grande que dans l'acide sulfurique, surtout pour les feuilles minces.

12) Dans l'acide sulfurique, pour différentes concentrations, la polarisation d'une plaque donnée restait toujours du même ordre de grandeur; mais sa valeur était franchement plus grande, à intensité de courant égale, dans les solutions étendues que dans les solutions concentrées jusqu'à 30 p. 100. Ce phénomène se voit surtout avec les feuilles minces; de même, les feuilles épaisses mettent moins de temps à atteindre leur maximum de polarisation avec de faibles courants. On peut expliquer ce fait par les changements de température et de concentration qui sont plus rapides dans

les solutions étendues. Pour des courants de $0^{amp},1$ à $0^{amp},2$, la polarisation, pour des électrodes terminales en cuivre, était de :

$1^{v},84$	pour	l'acide sulfurique,
$1^{v},98$	»	le sel marin,
$0^{v},00$	»	le sulfate de cuivre.

Si le courant était trop fort ou trop prolongé, les électrodes s'oxydaient et devenaient irrégulières. C. Fromme, dans un travail : *Sur la polarisation maxima d'électrodes en platine dans l'acide sulfurique* (*Annalen der Physik und Chemie*), établit que la polarisation varie de $1^{v},45$ à $4^{v},31$, suivant la concentration et l'étendue des électrodes, la polarisation minima correspondant à la conductibilité maxima. La méthode qu'il emploie a quelque rapport avec celle décrite ci-dessus. A propos de la variation de la polarisation en fonction du temps, l'auteur rappelle les recherches de M. E. Root, discutées par Helmholtz, et qui tendent à prouver que les ions pénètrent profondément dans l'électrode, même quand ils sont libérés sur une seule face.

V. M.

COMPTEUR GRASSOT D'INTENSITÉ ÉLECTRIQUE

POUR COURANTS CONTINUS

Le compteur de M. Grassot, construit par MM. Ducretet et Lejeune, a été combiné pour des courants dont le sens est constant sous une tension généralement invariable. C'est donc un ampère-heure-mètre ou un coulomb-mètre; de plus, son principe qui est celui des compteurs électro-chimiques en fait un totalisateur continu de la quantité d'électricité.

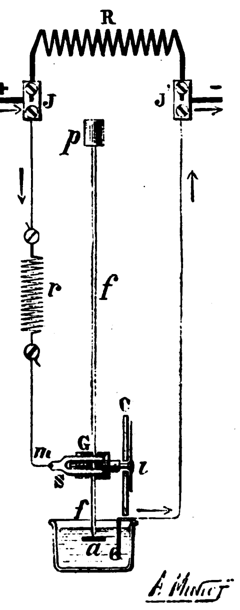


Fig. 1.

L'auteur s'est proposé de supprimer la variation des aimants permanents souvent employés dans la construction de ce genre d'appareils et la complication des mécanismes nombreux et délicats dont les résistances passives viennent à changer sans qu'on puisse les régler d'une façon absolue, d'où résulte la nécessité d'un coefficient de correction d'ailleurs inconstant.

M. Grassot a résolu le problème sous une forme des plus simples en utilisant l'usure progressive et régulière d'un fil exactement calibré en argent pur f (*fig.* 1)

dans une solution de nitrate d'argent traversée par une dérivation du courant principal. Ce fil placé verticalement est chargé à la partie supérieure par un poids *p* guidé dans un tube de verre (non représenté dans la figure) et bute par sa pointe conique inférieure contre un arrêt en verre *a* situé à une petite distance de la surface du bain. L'usure de cette anode provoquée par le passage du courant fait descendre progressivement dans l'électrolyte la partie du fil restée intacte; et comme celle-ci attaque tangentiellement une molette G dont la surface est rugueuse, la translation du fil, proportionnelle à la quantité d'électricité passant à travers le voltamètre, est accusé par une aiguille montée sur l'axe de la molette et se mouvant devant un cadran visible à l'extérieur. Ce cadran porte une division en parties égales représentant des ampères-heure. Une seconde aiguille actionnée par l'axe de la première donne les fractions d'ampère-heure. Tout le mécanisme se réduit à cela. La pesée de dépôts électrolytiques est ingénieusement évitée par ce dispositif.

La cathode est constituée par une lame d'argent *e* appliquée sur la paroi interne du vase contenant l'électrolyte.

Le courant est amené dans l'appareil par un fil de maillechort de faible résistance R, aux bornes duquel viennent se brancher les fils du voltamètre attachés d'autre part, l'un à une fourchette *s* pressant sur le fil d'argent au niveau de la molette G, et l'autre à la cathode. Une bobine de résistance *r* est insérée dans cette dérivation, de sorte que le bain est traversé sensiblement par la fraction $\frac{R}{R+r}$ du courant principal, la résistance du voltamètre étant très petite. La gra-

duation du cadran est établie en tenant compte de ce facteur.

Le travail électro-chimique use l'extrémité du fil d'argent en forme de pointe conique. Il peut arriver qu'à la suite d'un choc violent ou pour toute autre cause cette pointe s'émousse. Alors l'aiguille du compteur fait un saut en avant et reste ensuite stationnaire malgré la passage du courant; mais celui-ci continue alors à ronger le fil proportionnellement au nombre d'ampères-heure débités et la pointe se reforme sans que la longueur du conducteur ait changé; l'avance de l'index se trouve exactement regagnée jusqu'au moment où l'appareil fonctionne de nouveau d'une façon normale. Si donc on n'est pas obligé de faire la lecture des cadrans au moment où l'accident s'est produit, les indications de l'instrument ne sont pas entachés d'erreur.

Il en est de même quand l'usure de la pointe ne se fait pas régulièrement et qu'elle se déforme; l'aiguille, dans ce cas, marche par saccades, mais cela n'influe pas sur le résultat définitif d'une totalisation à longue période (*).

L'instrument est contenu dans une boîte en bois qui ne laisse voir que le cadran et les bornes terminales (*fig.* 2). Cet abri est agencé de façon qu'on puisse substituer rapidement un compteur prêt à fonctionner à un autre dont le fil d'argent ou le bain serait à renouveler.

Les avantages réunis par ce système de compteur sont :

(*) Ces effets peuvent se présenter quand l'intensité du courant descend à $0^{amp},3$ environ.



1° L'absence de mécanisme et de barreaux aimantés, ce qui assure un réglage permanent, indépendant du champ magnétique ambiant. En outre, l'appareil est exempt des effets de la variation de la température.

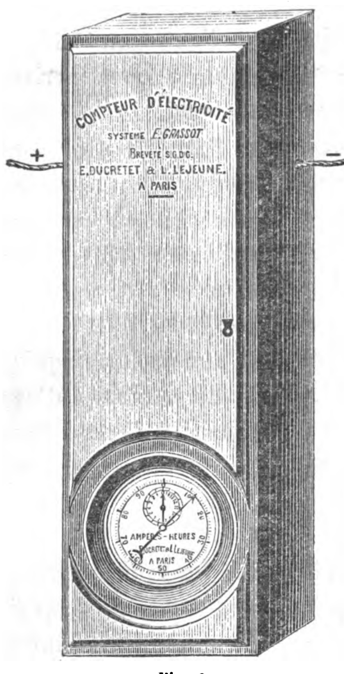


Fig. 2.

2° Son démarrage instantané, même pour une seule lampe allumée.

3° L'absence de dépense à circuit ouvert jointe à l'économie résultant de la récupération possible de l'argent précipité sur la cathode.

4° Son fonctionnement tout à fait silencieux.

5° Son prix très réduit qui le met à la portée des petites et des moyennes installations.

Ad. Perrin.

Juin 1894.

APPAREILS

UTILISANT LES DEUX SENS DU COURANT (*)

On a souvent cherché à augmenter le rendement d'un fil télégraphique en substituant à l'alphabet Morse un alphabet dans lequel les signaux sont tous formés par des courants d'égale durée. Il suffit à cet effet d'employer les deux sens du courant et de se servir de récepteurs polarisés. Les signaux formés par les courants positifs et par les courants négatifs sont enregistrés d'une manière différente et les lettres sont formées par des combinaisons de ces deux types de signaux; absolument comme, dans l'alphabet Morse, elles sont formées par des combinaisons de traits et de points.

PREMIERS APPAREILS A DOUBLE COURANT.

L'idée de faire disparaitre l'inégalité de temps dans l'enregistrement des signaux est aussi ancienne que la télégraphie. L'appareil que Steinheil avait conçu en 1837, avant même que l'appareil Morse ne fût

(*) Extrait du *Traité de Télégraphie électrique* que M. H. Thomas a publié chez Baudry et Cie, et dont les *Annales télégraphiques* ont rendu compte (numéro de janvier-février 1894). Les appareils dont il va être question n'ayant jamais été mentionnés dans ce recueil qu'au point de vue du principe d'après lequel ils ont été conçus, M. Thomas a bien voulu autoriser les *Annales* à en reproduire la description qu'il a donnée dans son ouvrage.

connu en Europe, était absolument basé sur ce principe. Les signaux étaient formés par des courants positifs ou négatifs et le récepteur enregistrait ces signaux sur deux lignes parallèles sur la bande d'arrivée. Cette même combinaison avait été appliquée quelques années après à un appareil appelé Morse bavarois ou Morse à deux styles (*) qui enregistrait de la même manière les signaux sur deux lignes parallèles de la bande de réception. Les points enregistrés sur une des lignes et qui étaient formés par les courants positifs correspondaient aux traits, tandis que les points enregistrés sur la seconde ligne et qui étaient formés par les courants négatifs correspondaient aux points du Morse. Le mot Paris par exemple était, par cet appareil, enregistré ainsi qu'il suit :

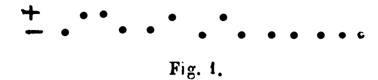


Fig. 1.

GÉNÉRALITÉS.

Les appareils fondés sur ce principe peuvent offrir quelques avantages; le rendement de l'appareil est augmenté, puisque la formation des signaux prend un temps moins considérable. Le fait de ne transmettre que des courants de même durée offre aussi un avantage au point de vue électrique et peut contribuer de ce chef à accroître un peu la rapidité de la transmission. On peut ajouter encore que les signaux étant plus ramassés sur les bandes, l'œil en embrasse un

(*) Appareil de Stöhrer (1849)

plus grand nombre à la fois et la lecture peut être un peu plus rapide.

Néanmoins, il ne faut pas exagérer ces différents avantages et en pratique le rendement est peu supérieur à celui du Morse. En revanche, on se trouve en présence d'appareils plus compliqués et plus coûteux. Aussi ne font-ils pas abandonner l'appareil Morse qui est la simplicité même et dont le réglage n'offre aucune difficulté.

Dans certains pays d'ailleurs, et notamment en France, la constitution même du réseau s'oppose à l'adoption d'appareils de ce genre sur la plupart des lignes. Dans le réseau municipal, en effet, un même fil dessert presque toujours deux bureaux. L'un est desservi par le courant positif et l'autre par le courant négatif. L'appareil à double courant ne serait donc pas applicable sur de telles lignes, à moins d'une modification profonde du réseau. Comme, d'autre part, sur les grands fils, on emploie généralement des appareils plus rapides, il ne pourrait être utilisé que dans quelques cas tout à fait particuliers.

Néanmoins, on a construit, dans ces dernières années, un certain nombre d'appareils à double courant intéressants que nous allons passer en revue, en commençant par celui que Herring avait présenté en France, dès 1871, et sur lequel il avait été fait, à cette époque, des expériences favorables.

APPAREIL HERRING.

Les signaux sont formés d'après les conventions usitées pour l'appareil Morse. Mais, au lieu de se succéder sur une ligne horizontale, ils se présentent ver-

ticalement les uns à côté des autres. Le point est formé par l'abaissement d'un levier terminé par un style étroit, tandis que le trait est formé par un style plus large appartenant à un second levier. L'impression des deux signaux demande ainsi le même temps. Les lettres sont représentées par les combinaisons suivantes :

a | b | c | d | etc

Fig. 2.

Le transmetteur est un double manipulateur AA_1 dont les deux leviers communiquent entre eux et dont les deux butoirs de repos sont reliés entre eux et à l'appareil de réception. Quand on presse sur le levier A, on envoie un courant positif sur la ligne; on envoie, au contraire, un courant négatif quand on presse sur le levier A_1 (*fig.* 3).

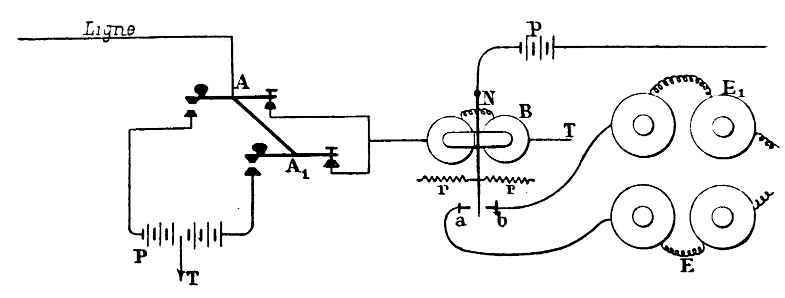


Fig. 3.

Les courants sont reçus à l'arrivée par un relais B dont l'armature polarisée est maintenue par des ressorts antagonistes à égale distance des deux pôles de l'électro-aimant. Quand un courant traverse le relais, l'armature N vient, suivant le sens du courant, buter contre l'une des vis butoirs *a* ou *b*. Dans le premier cas, elle ferme le circuit de la pile locale *p* à travers l'électro-aimant E du récepteur; dans le second cas, elle ferme le circuit de cette même pile à travers

l'électro-aimant E_1. Ces deux électro-aimants commandent des leviers distincts qui produisent l'impression.

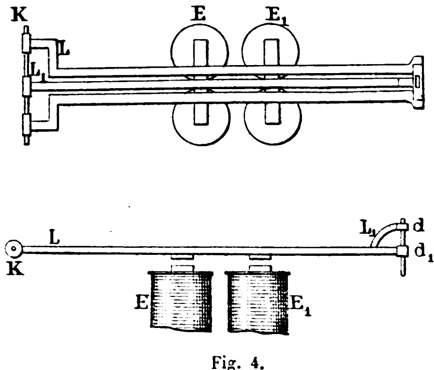


Fig. 4.

L'électro-aimant E commande le levier L formé de deux branches réunies entre elles et au milieu desquelles se trouve le levier L_1 commandé par l'électro-aimant E_1 (*fig.* 4). Les deux leviers ont un axe commun K. Le levier L_1 est recourbé à son extrémité et se termine par une douille dans laquelle est introduite un goujon *g* destiné à l'impression des points. Les extrémités des deux bras qui forment le levier L sont réunies par une autre douille d_1 qui porte deux goujons g_1 et g_2 servant à l'impression du trait (*fig.* 5).

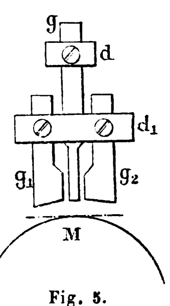


Fig. 5.

Le mécanisme du récepteur est par suite facile à comprendre. Lorsque l'armature du relais a fermé le circuit de l'électro-aimant E_1, le levier L_1 est attiré et le goujon *g* presse le milieu de la bande de papier contre la molette M déterminant l'impression d'un point. Quand au contraire l'armature du relais, sous

l'influence d'un courant de ligne de sens contraire au précédent, ferme le circuit de l'électro-aimant E, c'est e levier L qui est attiré, et les deux goujons g_1 et g_2, en s'abaissant, pressent toute la largeur de la bande contre la molette et déterminent l'impression d'un trait.

APPAREIL ESTIENNE.

Manipulateur. — Dans l'appareil Estienne les traits et les points sont remplacés par des traits et des demi-traits juxtaposés. Les lettres de l'alphabet sont donc représentées par des signaux groupés d'après les spécimens suivants :

a ı|
b |ııı
c |ı|ı
etc
Fig. 6.

Un manipulateur inverseur qui comporte deux touches sert à la transmission des signaux. Quand on appuie sur une des touches, on envoie sur la ligne un courant positif. Quand on appuie sur l'autre, on transmet un courant négatif. L'émission du courant positif correspond au demi-trait, l'émission du courant négatif au trait.

Les deux leviers munis des deux touches sur lesquelles sont inscrits les signaux à transmettre sont mobiles autour d'un axe A (*fig. 7*). A la position de repos des vis N_1 et N_2 qui traversent les leviers appuient sur deux plots et les leviers sont maintenus dans cette position par l'action des ressorts R_1 et R_2. Ces vis N_1 et N_2 servent à régler le jeu des leviers.

Les leviers communiquent électriquement avec la ligne et avec un ressort métallique R relié normalement au récepteur quand le manipulateur est au repos.

Quand on abaisse une touche, la touche du trait, par

exemple, le levier de droite est mis en relation avec le pôle négatif de la pile. L'extrémité postérieure de ce levier, en se soulevant, élève, par l'intermédiaire d'un

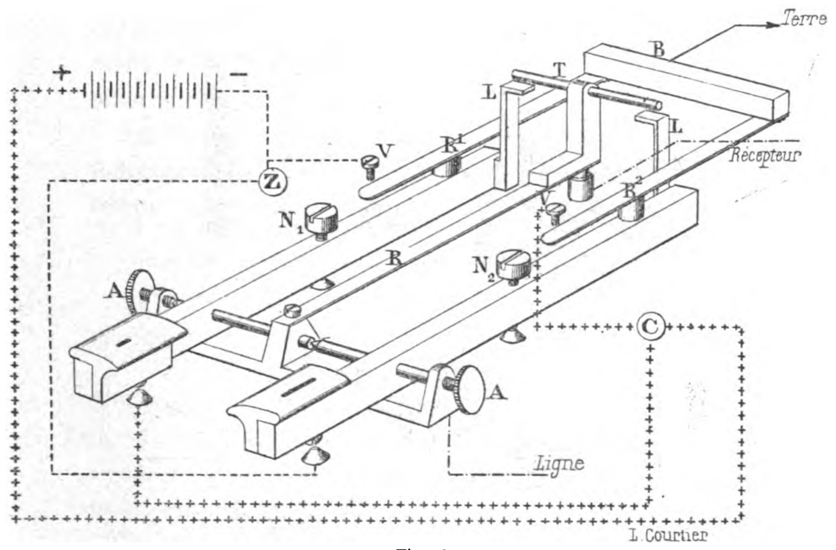


Fig. 7.

petit bloc d'ébonite, le ressort R_2 qui est relié à la terre et le met en relation avec une vis butoir V qui communique avec le pôle positif de la pile. Les deux pôles de la pile sont donc relation l'un avec la ligne, l'autre avec la terre, et par suite un courant négatif est émis sur la ligne. Le récepteur est d'ailleurs isolé de la ligne. Une petite équerre L placée à l'extrémité du levier soulève en effet la tige T, solidaire du ressort-lame R et rompt la communication de celui-ci avec le plot du récepteur.

L'émission d'un courant positif se forme de la même manière par l'abaissement de la touche du demi-trait.

Récepteur. — Le récepteur comporte un électro-

aimant à armature polarisée (*fig.* 8). Elle est polarisée par un aimant permanent horizontal dont l'un des pôles N porte une pièce *a* taillée en biseau et à laquelle

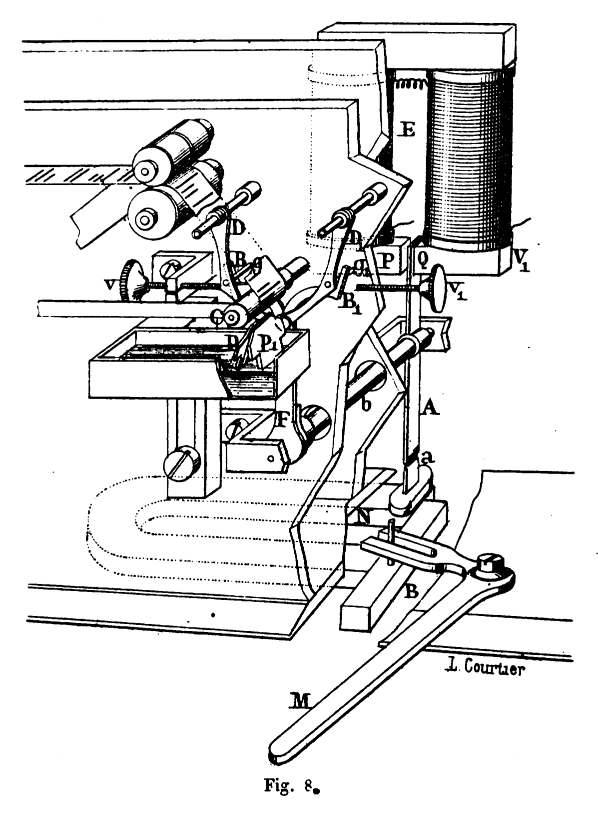


Fig. 8.

il communique sa polarité. L'armature A verticale, taillée elle-même en biseau, repose à l'état normal sur cette pièce qui l'aimante. Elle est mobile autour d'un axe *b* et son extrémité peut osciller entre les deux plaques polaires P et Q de l'électro-aimant. Des vis V et V_1 permettent de déplacer ces plaques polarisées et de régler leur distance à l'armature.

L'enroulemont des bobines est telle que, quand un courant les traverse, les plaques polaires P et Q prennent des polarités différentes. Suivant le sens du courant, l'armature incline donc à droite ou à gauche, et, quand le courant cesse de passer, l'action de l'aimant la ramène à la position neutre ; l'aimant joue ainsi le rôle d'un ressort de rappel.

Sur le même axe *b* que l'armature est montée une fourchette BB_1 qui oscille autour de son axe en même temps que cette armature (*fig.* 8bis). Deux porte-

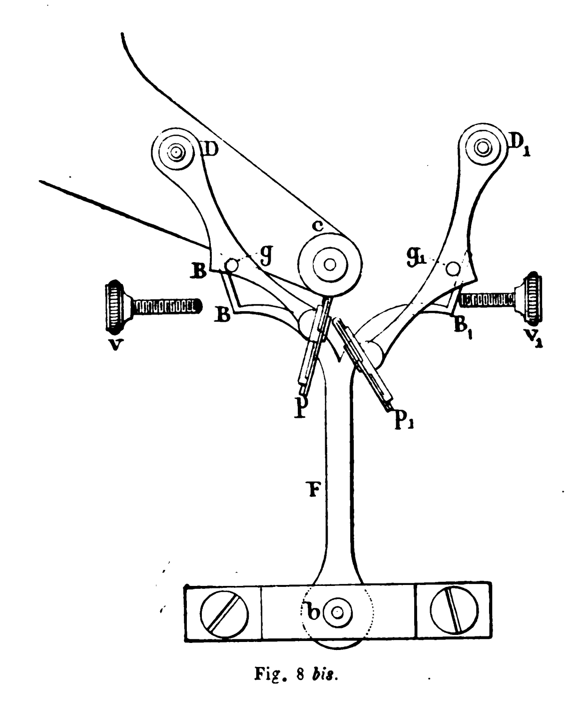


Fig. 8 *bis*.

plumes D et D_1 qui sont munis des plumes p et p_1 viennent appuyer par leurs goupilles g et g_1 contre les branches b et b_1 de la fourchette. Les deux

plumes p et p_1 inclinées l'une vers l'autre sont composées d'une carcasse de laiton et d'une lamelle de peau enveloppant vers le milieu et sur ses deux faces la partie métallique (*fig.* 9). Elles trempent par leur extrémité inférieure dans un encrier et l'encre monte par capilarité. La largeur de la peau est différente sur les deux plumes : l'une a la largeur d'un trait et l'autre d'un demi-trait.

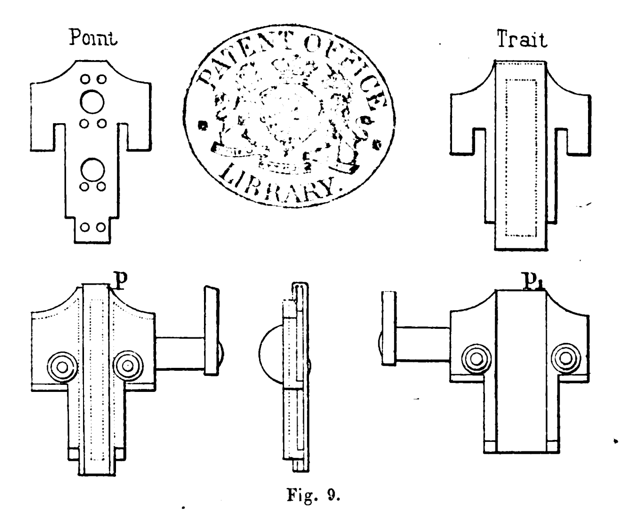


Fig. 9.

Quand la fourchette, sous l'action d'un courant, oscille de droite à gauche, la branche B_1 pressant sur la goupille g_1 déplace le porte-plume D_1 et la plume p_1 vient s'appliquer sur le papier qui se déroule sous le rouleau C et y trace un trait. Le porte-plume D, au contraire, en vertu de son poids suit le mouvement de la branche B dont la course est d'ailleurs limitée par la vis v et la plume p s'abaisse ne gênant pas ainsi la plume p_1 dans son mouvement ascensionnel. Lorsque l'oscillation a lieu au contraire de gauche à

droite, c'est la plume p_1 qui s'abaisse et la plume p qui imprime un trait sur le papier.

Cet appareil est employé en Allemagne sur un certain nombre de lignes souterraines (*).

APPAREIL HÉRODOTE.

Un appareil à double courant très simple est l'appareil Hérodote. L'appareil Morse peut être en effet facilement et à peu de frais transformé en cet appareil par l'adjonction de quelques organes.

Manipulateur (*fig.* 10 et 11). — Le manipulateur inverseur Hérodote comprend deux lames L et M, commandées par deux touches en ébonite T et T_1 et reliées, l'une à la ligne, l'autre à la terre, et un ressort N relié électriquement à la lame L. Cette lame L porte un bras métallique a. M porte également un bras b; mais celui-ci est en ébonite, et son épaisseur est supérieure à celle de a.

La lame L peut osciller entre une vis butoir v isolée et un plot p relié au pôle positif de la pile; la lame M peut osciller entre une vis butoir v_1 reliée au pôle négatif, et un plot p_1 relié au pôle positif de la pile.

Au repos, un courant venant de ligne arrive au récepteur par le ressort N, le butoir u et le plot A.

Quand on abaisse la touche T, le doigt a presse sur le ressort N et rompt la communication avec le récepteur. La lame L vient en communication avec le plot p, reliant le pôle positif à la ligne, tandis que le ressort N reste au-dessus du plot q; le pôle négatif est d'ailleurs

(*) D'après les renseignements statistiques fournis par le *Journal télégraphique de Berne*, il y avait cinquante-trois appareils Estienne en service en Allemagne en 1891.

relié d'une façon normale à la terre par le butoir v_1 Quand on abaisse, au contraire, la touche T_1, la lame M vient s'appuyer sur le plot p_1, mettant le pôle positif à la terre; le bras *b* appuyant sur le ressort N le sépare du récepteur et l'amène jusqu'au contact du plot *q*, mettant ainsi le pôle négatif à la ligne.

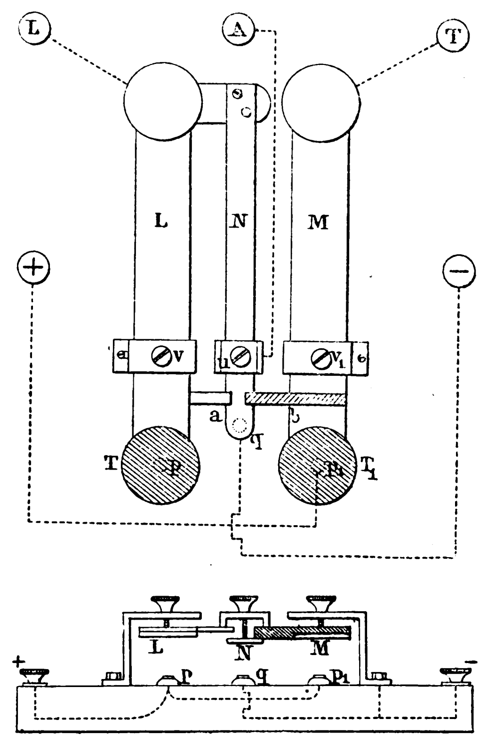


Fig. 10 et 11.

Suivant qu'on appuie sur une touche ou sur l'autre, on provoque donc des émissions positives ou négatives sur la ligne.

Récepteur. — L'appareil récepteur comporte deux

électro-aimants dont l'un E est l'électro-aimant d'un appareil Morse ordinaire. L'autre E_1 est un électro-aimant à armature polarisée (*fig.* 12).

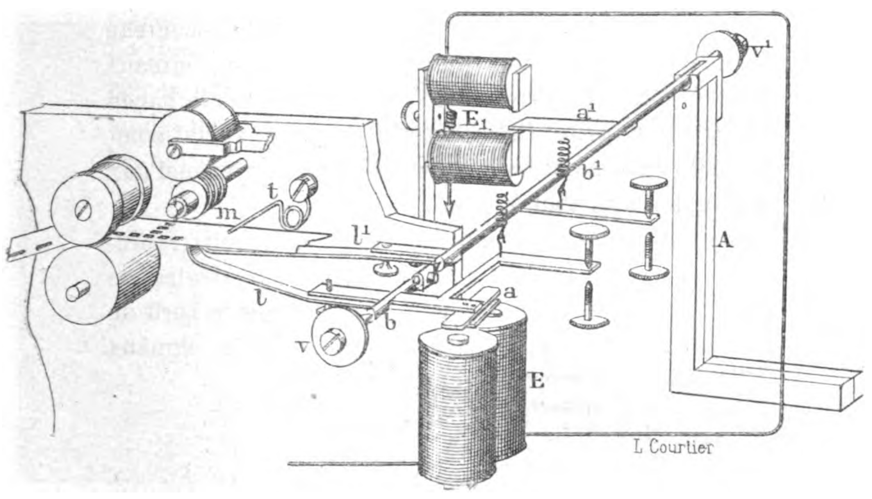


Fig. 12.

Quand le courant qui traverse ces deux électro-aimants a un certain sens, il n'agit pas sur E_1 et l'armature a_1 reste immobile. Il agit, au contraire, sur E dont l'armature obéit indifféremment à l'un ou à l'autre sens du courant. L'armature *a* en se rapprochant des noyaux soulève un levier *l* semblable au levier de l'appareil Morse et le couteau qui le termine projette la bande contre la molette *m*. Cette molette porte quatre saillies circulaires imbibées par un tampon encreur. Le couteau ne soulève pas la partie antérieure de la bande, la partie postérieure étant empêchée d'arriver à la molette par la tige *t*. Il s'imprime donc dans ce mouvement un point près du bord de la bande.

Envoie-t-on un courant de sens contraire, il agit à la fois sur les deux électro-aimants. L'armature a_1 en se déplaçant fait tourner un axe b_1 dont elle est solidaire. Celui-ci commande un levier l_1 qui se termine par un couteau placé sous la bande à côté du couteau du levier l. Au passage du courant, les deux couteaux se soulèvent en même temps, projetant toute la bande contre la molette. Celle-ci reçoit alors un signal composé de quatre points juxtaposés et qui correspond aux traits de l'alphabet Morse.

Les traits et les points se succèdent ainsi représentés respectivement par des lignes verticales de quatre points et par des points placés sur le bord de la bande. Le mot Paris, par exemple, avec les signaux Hérodote sera représenté ainsi qu'il suit :

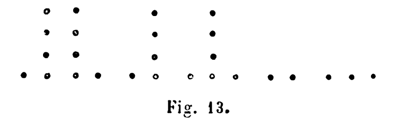


Fig. 13.

APPAREIL FARJOU.

L'appareil Farjou, comme l'appareil Herring, reçoit les courants de ligne dans un relais : l'organe récepteur peut être ainsi rendu très simple et le réglage peut être très facile. L'organe imprimeur fonctionnant sous l'influence d'un courant local est également d'un réglage facile. De plus, la séparation des organes récepteurs et des organes d'impression peut être aisément utilisée pour produire une décharge de la ligne après chaque courant reçu.

Le relais employé est dérivé de l'électro-aimant Baudot.

Un aimant permanent A a ses deux pôles reliés par une semelle en fer doux séparée magnétiquement en deux parties par une partie médiane en cuivre.

Quatre vis pivots *a*, *b*, *c*, *d* relient à la semelle deux pièces cylindriques séparées l'une de l'autre et portant les tiges verticales t et t_1 d'une part, et de l'autre des pièces horizontales LM et PQ situées respectivement au-dessus des pièces polaires *nn'* et *ss'* qui terminent les noyaux de l'électro-aimant.

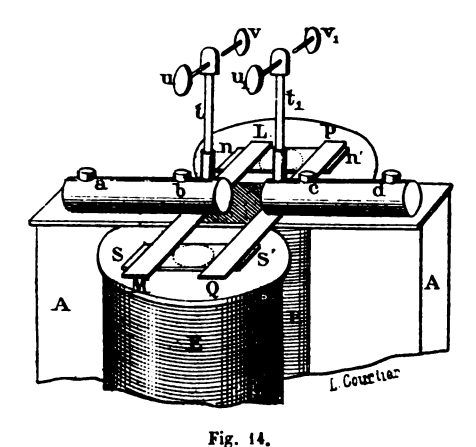


Fig. 14.

Grâce à cette disposition, quand un courant traverse l'électro-aimant de manière à développer un pôle nord à l'extrémité du noyau de la bobine E, un pôle sud à l'extrémité du noyau de la bobine E_1, l'une des plaques LM par exemple, oscille de droite à gauche autour des pivots *a* et *b* et l'armature *t* vient contre le butoir de repos *u*, tandis que la plaque PQ oscille de gauche à droite autour des pivots *c* et *d*, et l'armature t_1 vient buter contre le butoir de travail v_1. Si un courant de sens contraire traverse l'électro-aimant, c'est, au con-

traire, l'armature t qui vient buter contre le butoir de travail v et l'armature t_1 contre le butoir de repos u_1.

Si la semelle à laquelle les deux armatures sont reliées électriquement communique avec une pile locale et si les deux butoirs de travail v et v_1 communiquent avec deux électro-aimants différents, on voit que, d'après le sens du courant qui traverse le relais, on peut obtenir deux effets différents.

La clef employée pour le manipulateur peut être une clef à inversion ordinaire du modèle de celle qui est employée pour la transmission sur les câbles sous-marins. On peut y ajouter un système de décharge, le système Godfroy, par exemple, ou encore l'un des systèmes indiqués par M. Farjou lui-même.

Le récepteur qui sert à l'enregistrement diffère peu du récepteur Morse ordinaire. Les deux bobines ne sont pas intercalées dans les mêmes circuits et elles commandent chacune une armature différente. Les noyaux sont d'ailleurs séparés au point de vue magnétique et, à cet effet, la culasse ordinaire est remplacée par une culasse en cuivre.

L'une des bobines est en relation avec un des butoirs de travail v, l'autre avec le second butoir de travail v_1 du relais. Les armatures des relais sont d'ailleurs reliées à une pile locale, si bien que, suivant le sens du courant qui traverse le relais, le courant de la pile locale traverse l'une ou l'autre des bobines (*fig.* 15).

Les deux bobines agissent sur deux armatures indépendantes qui pivotent autour d'un même axe.

Lorsque la bobine A attire son armature, elle soulève le couteau C. Quand la bobine B attire son armature, elle soulève le couteau C_1. Mais ce couteau est

relié par une goupille au couteau C, si bien que les deux couteaux sont soulevés à la fois.

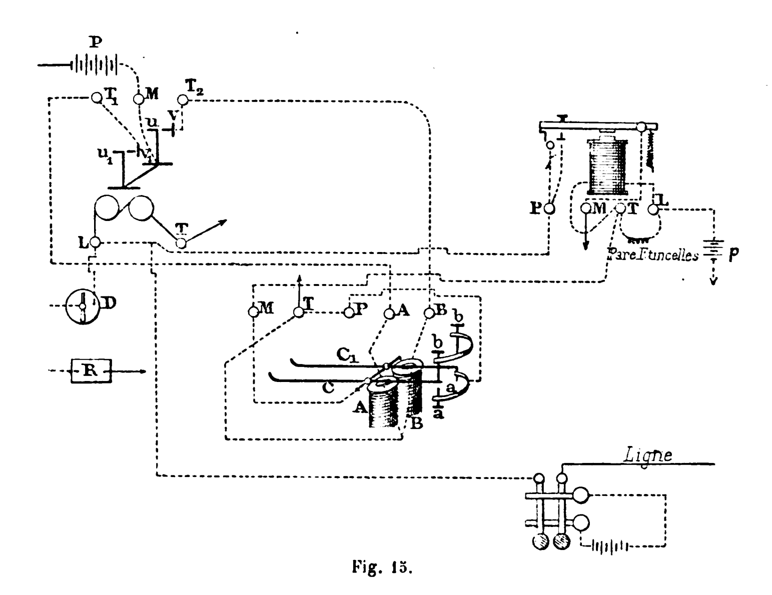
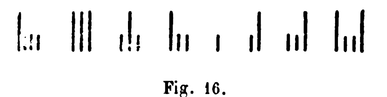


Fig. 15.

La molette ordinaire de l'appareil Morse est remplacée par une molette beaucoup plus large qui se trouve en regard des extrémités des couteaux. Lorsque le couteau C est soulevé seul, il détermine l'impression d'un petit trait qui correspond au point de l'alphabet Morse. Lorsque les deux couteaux sont soulevés, ils déterminent l'impression d'un grand trait.

Le mot *Bordeaux*, par exemple, sera transmis, ainsi qu'il suit :


Fig. 16.

L'installation d'un poste Farjou est complétée par

une bobine sans self-induction qui est placée en dérivation à l'entrée du relais et, d'autre part, par un parleur désigné sous le nom de découpeur et dont le rôle consiste à mettre la ligne à la terre après la réception de chaque signal.

La résistance sans self-induction a pour but d'empêcher les courants d'induction produits par les circuits voisins d'exercer sur le relais une influence nuisible, ces courants étant de courte durée. Le courant de travail est également affaibli par cette disposition ; mais la résistance peut être choisie néanmoins de façon à ne pas gêner la réception des signaux. Un commutateur D permet d'introduire ou de supprimer cette résistance à volonté.

Le découpeur se compose d'un parleur dont l'armature a son extrémité voisine d'un petit ressort lame *r*, qu'elle vient toucher au moment où commence l'attraction (*fig.* 14).

Les deux butoirs inférieurs du récepteur *a* et a_1 sont reliés à la terre tandis que les deux armatures sont reliées à la borne T du découpeur. La borne L du découpeur est d'abord reliée à une pile locale *p* de quelques éléments, ou simplement, si l'on veut, à une fraction de la pile P. Lorsque le relais a fonctionné et qu'une des armatures a été attirée, au moment où elle arrive au bas de sa course et que le signal, par suite, est déjà imprimé, le circuit de la pile *p* est formé à travers l'électro-aimant du découpeur et l'armature est attirée. Au moment où elle arrive au contact du ressort *r*, la ligne est mise à la terre et l'on voit que cette décharge se produit après chaque signal.

Aussitôt que l'armature a touché le ressort *r* le relais reprend sa position de repos et le courant d'im-

pression cesse de passer. Le signal se trouve en quelque sorte découpé.

La manipulation doit être assez rapide. La durée des émissions ne doit pas dépasser le temps que met l'armature à se mouvoir. Si elle durait plus longtemps, le courant de la même émission agirait encore sur le relais au moment où l'armature serait revenue à sa position de repos.

H. THOMAS.



PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DU FER

A DIVERSES TEMPÉRATURES (*)

J'ai étudié les propriétés magnétiques du fer doux entre 20° et 1.375° pour des champs magnétisants variant de 25 à 1.300 unités C. G. S.

La méthode employée est celle que j'ai déjà utilisée pour l'étude des corps faiblement magnétiques (**). On mesure la force qui agit sur un morceau de fer placé dans un champ magnétique qui n'est pas uniforme. Lorsque la température est plus basse que 780°, on se sert d'un fil de fer, orienté dans la direction du champ, pour que la force démagnétisante provenant de l'aimantation du corps soit aussi faible que possible (on a employé généralement des fils de 1^{cm} de longueur et de $0^{cm},002$ à $0^{cm},020$ de diamètre). A une température supérieure à 780°, la force démagnétisante devient négligeable quelles que soient la forme et la grosseur du morceau utilisé.

Les courbes de la *fig.* 1 et le tableau ci-joint donnent pour diverses températures l'intensité d'aimentation spécifique en fonction de l'intensité du champ H (***).

(*) *Comptes rendus*, 9 et 16 avril 1894. Notes de M. P. Curie, présentées par M. Lippmann.

(**) *Comptes rendus*, 1892, t. CXV, p. 805 et 1292; 1893, t. CXVI, p. 136.

(***) On a admis $0,79 \cdot 10^{-6}$ pour coefficient d'aimantation spécifique de l'eau. Il suffit de multiplier les nombres du tableau par la densité du fer pour avoir l'intensité d'aimantation en volume dont on fait usage d'ordinaire.

TEMPÉRATURES	CHAMPS MAGNÉTISANTS										
	1.300	1.000	750	300	150	100	75	50	25	15	10
20°	216,3	216,2	215,7	201,3	183,7	171,8	164,3	153,7	136,0	123 ?	»
275	207,5	207,5	207,1	200,3	184,3	171,1	162,0	151,8	138,0	126 ?	117 ?
477	189,6	189,5	188,9	186,8	180,3	173,0	166,2	155,0	140,5	129 ?	117 ?
601	164,0	164,0	164,0	162,9	158,8	154,9	152,0	147,8	137,0	129	114 ?
688	127,1	127,1	126,8	124,7	121,8	119,9	117,9	114,7	108,6	100	89 ?
720	100,7	100,4	100,1	97,8	94,4	92,9	91,0	88,4	84,5	82	
740,4	64,0	62,3	61,3	58,5	57,1	55,2	53,0	50,5	46,0 ?		
744,6	50,1	47,6	45,4	39,2	34,6 ?	32,5 ?	31,0 ?	29,5 ?	27,0 ?		
748,2	37,3	33,1	29,2	19,4	14,0 ?	11,5 ?	10,0 ?	8,7 ?	6,5 ?		
752,2	18,2	15,0	12,2	5,3	3,5 ?	»					
756,4	9,62	7,4	5,55	2,22	1,11	0,74					
760,5	5,85	4,5	3,38	1,35	0,67	0,45					
764,4	4,42	3,4	2,55	1,02	0,51	0,34					
767,9	3,51	2,7	2,03	0,81	0,40	0,27					
780,4	1,88	1,45	1,09	0,43	0,20	0,145					

Pendant les mesures, le champ variait périodiquement de + 1.300 à — 1.300, on a donc obtenu les courbes d'aimantation cyclique du fer dans lesquelles les phénomènes d'hystérésis magnétiques jouent ordinairement un grand rôle; mais, dans le cas du fer doux et pour des champs aussi intenses, les effets de l'hystérésis sont presque négligeables et ne sauraient masquer les propriétés du phénomène principal (*). On a donné, sur la figure et dans le tableau, les valeurs de l'intensité d'aimantation pour certains champs lorsque ceux-ci sont obtenus dans leur période croissante.

L'observation des courbes suggère quelques remarques :

Lorsque le champ croît de 0 à 1.300, les courbes relatives à deux températures différentes s'écartent d'abord peu l'une de l'autre, sans toutefois se confondre,

(*) M. Hopkinson a fait une étude très complète des propriétés magnétiques du fer aux températures inférieures à celle de transformation. Les champs utilisés étaient relativement faibles, et les phénomènes d'hystérésis jouent alors un rôle considérable.

pendant toute une portion de leur tracé; puis ces courbes se séparent franchement. C'est ainsi que la courbe relative à 275° se sépare à peine de la courbe de 20° tant que le champ est inférieur à 300 unités. De même, la courbe de 477° s'écarte peu des courbes de 20° et de 275° tant que le champ est inférieur à

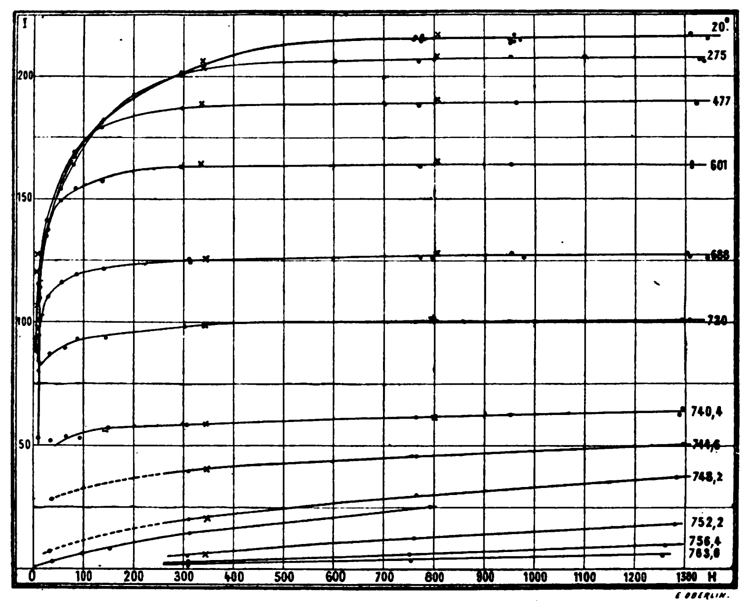


Fig. 1.

100 unités, etc. On peut imaginer une courbe limite qui serait celle vers laquelle tendent les autres courbes lorsque la température absolue tend vers zéro. La courbe d'une température quelconque s'écarterait peu de cette courbe limite sur une portion de son tracé d'autant plus longue que la température serait plus basse.

On peut admettre que la courbe à 20° donne, à peu

de chose près, pour les champs inférieurs à 450 unités, la première partie du tracé de cette courbe limite.

Pour faciliter les explications, nous distinguerons dans une des courbes trois parties : une portion initiale dont nous venons de parler, une dernière portion pour laquelle l'intensité d'aimantation est presque constante, quel que soit le champ ; enfin une portion qui sert à raccorder les deux autres. Pour la courbe de 601°, par exemple, la portion initiale est relative aux champs inférieurs à 40 unités, la portion intermédiaire suit jusqu'à un champ voisin de 400 unités ; de 400 à 1.300 l'intensité d'aimantation est presque constante. A 740° et pour des températures supérieures à celle-là, la dernière portion a disparu.

A partir de 756° et jusqu'à 1.375° les courbes ne sont plus que des droites passant par l'origine. Cela signifie que pour les températures supérieures à 756° le fer a un coefficient d'aimantation constant (pour des champs magnétisants compris 25 et 1.300 unités).

Le fer passe donc progressivement de l'état de corps ferro-magnétique à l'état de corps faiblement magnétique à coefficient d'aimantation constant.

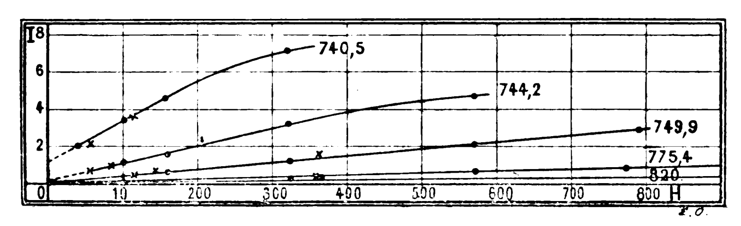


Fig. 2.

La *fig.* 2 se rapporte à des expériences faites avec un autre échantillon de fer dans le but de préciser autant que possible la forme de la courbe $I = f(H)$ aux

températures voisines de son changement d'allure.

A 737°,3 (expériences non représentées sur la figure), I augmente progressivement de 22 à 24 pour des champs variants de 7 à 90 unités. Les courbes doivent passer par l'origine et y avoir un point d'inflexion. On voit alors nettement, d'après les expériences faites à 737°,3, et à 740°,5 et 744°, que l'on doit avoir une augmentation très rapide de I pour les champs faibles suivie d'un changement de direction absolument brusque. La quantité $\left(-\frac{d^2 I}{dH^2}\right)$ doit passer nécessairement par un maximum pour un champ plus faible que ceux qui ont été utilisés dans les mesures (*). A 775°,4 et à 820° le coefficient d'aimantation est constant.

On peut chercher à se faire une idée du mécanisme de la transformation des courbes quand la température s'élève.

Nous proposons l'interprétation suivante : nous avons distingué trois portions dans les courbes relatives à l'état ferro-magnétique. Dans la première portion, on a, pour les champs faibles, un coefficient d'aimantation énorme (en faisant abstraction des phénomènes d'hystérésis). Ce coefficient est du même ordre de grandeur

(*) Il convient toutefois de faire remarquer qu'aux températures où l'on peut suivre le changement d'allure des courbes, les expériences sont fort pénibles et se font dans des conditions particulièrement défavorables, parce que l'intensité d'aimantation varie avec la température avec une extrême rapidité. A 737°, par exemple, la température doit être maintenue constante à 1/10 de degré près pendant toute une série d'expériences pour que les résultats puissent être utilisés.

Les degrés et dixièmes de degré indiqués ont seulement de l'intérêt pour définir les différences de températures pour des expériences successives faites avec un même échantillon; mais les températures indiquées ne sont comparables qu'à 15° près pour des expériences faites avec des échantillons différents

quelle que soit la température et semble plutôt augmenter quand la température s'élève. La longueur de cette première portion est de plus en plus courte lorsque la température est de plus en plus élevée, si bien que vers 750° cette première portion disparait. D'autre part, lorsque la température s'élève, la troisième portion à intensité d'aimantation constante des courbes ne se présente plus pour les limites des champs employés. Toute la courbe est alors constituée par une partie de la deuxième portion intermédiaire, et cette partie ne présente bientôt plus de courbe sensible dans les limites des champs employés. Ainsi on est amené à la conception suivante : aux températures élevées le fer commence par s'aimanter avec un coefficient initial énorme; mais il se fait, presque dès le début, un brusque changement dans la direction de la courbe $I = f(H)$, le champ et l'intensité d'aimantation étant encore extrêmement faibles; la courbe se présente ensuite comme une droite beaucoup moins inclinée et qui semble passer par l'origine.

Le fer doux reste magnétique aux températures élevées. Le coefficient d'aimantation pour des températures comprises entre 755° et 1.365° est indépendant de l'intensité du champ (pour des champs de 25 à 1.350 unités).

Voici le tableau des valeurs du coefficient d'aimantation spécifique K (multiplié par 10^6), à diverses températures supérieures à 755° :

θ	K 10^6	θ	K 10^6	θ	K 10^6
756°	7.500	820°	509	1.100°	26,3
758	5.800	840	318	1.150	25,6
760	4.680	860	238	1 200	25,0
765	3.270	880	138	1.250	24,3
770	2.420	900	61	1.280	23,9
780	1.480	920	33,9		38,3
790	1.023	940	28,4	1.300	36,9
800	776	1.000	27,6	1.330	34,8
810	625	1.050	27,0	1.366	32,3

Les courbes (*fig.* 3) représentent les valeurs de l'intensité d'aimantation I, en fonction de la température θ, pour des champs magnétisants H de 25, 50, 75, 100, 150, 300, 750, 1.000 et 1.300 unités, de 720° à 760°. Les courbes sont tellement resserrées que l'on a seulement représenté alors celles relatives aux champs de 25, 300, 1.000 et 1.300 unités.

De 760° à 1.375°, les intensités d'aimantation étant proportionnelles aux champs, on a seulement représenté les courbes correspondant au champ de 1.000 unités, courbes (1), (2), (3), (4), (5). La courbe (1) est à l'échelle indiquée; les courbes (2), (3), (4), (5) sont respectivement à des échelles 10, 100, 1.000, 5.000 fois plus grandes. Comme le champ relatif à ces courbes est égal à 1.000, on peut encore dire que les courbes (1), (2), (3), (4), (5) donnent respectivement à l'échelle indiquée les valeurs de K_{10^3}, K_{10^4}, K_{10^5}, K_{10^6}, $5K_{10^6}$ pour $H = 1.000$ et même pour toute valeur de H comprise entre 25 et 1.300 lorsque la température est supérieure à 760°.

L'examen des courbes montre qu'il n'y a pas une température déterminée pour laquelle le fer se transforme. D'une manière générale, l'intensité d'aimantation baisse d'abord lentement, puis de plus en plus vite quand la température s'élève, et la chute du ma-

gnétisme atteint son maximum de vitesse vers 740° à

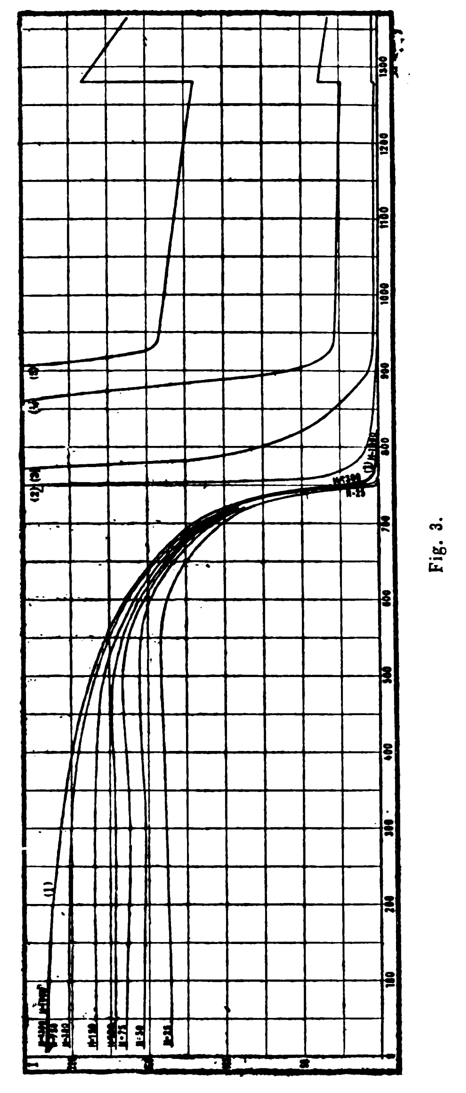


Fig. 3.

750°; les courbes ont alors un point d'inflexion. L'ex-

pression *température de transformation du fer* qui est d'un usage très commode a donc une signification un peu vague; il convient, je pense, de désigner ainsi la température moyenne des points d'inflexion des courbes.

Aux températures supérieures à 750° et jusqu'à 1.275°, l'intensité d'aimantation continue à décroître avec une vitesse de plus en plus faible. Mais de 750° à 950°, la variation relative de l'intensité d'aimantation $\frac{1}{I}\frac{dI}{d\theta}$ est toujours considérable. L'intensité d'aimantation diminue de la moitié de sa valeur d'abord pour quelques degrés, puis pour 20° ou 30° d'élévation de température.

On est alors obligé, pour représenter le phénomène, d'employer des échelles de plus en plus grandes, et la courbe (5) est à une échelle 5.000 fois plus grande que la courbe (1) (*).

De 950° à 1.280°, le coefficient d'aimantation est presque constant, et diminue un peu avec la température.

Vers 1.280°, le coefficient d'aimantation augmente brusquement de la moitié de sa valeur; puis de nouveau, de 1.280° à 1.365°, il se remet à diminuer quand la température augmente (**).

(*) L'intensité d'aimantation pour un champ de 1.000 unités est 7.800 fois plus faible à la température de 1.000° qu'à la température ambiante. La courbe pour $H = 1\,000$ reconstituée à l'échelle de la courbe (5) aurait pour la température de 20°, une ordonnée de 21 mètres.

Pour un champ de 25 unités, la chute est encore plus forte et l'intensité d'aimantation à 1.000° est alors 197.000 fois plus faible qu'à 20°.

(**) De 950° à 1.280°, on a représenté un peu arbitrairement les phénomènes par une droite. Il se peut qu'il faille lui substituer une courbe peu accentuée. Aux températures supérieures à 1.100°, les expériences deviennent très difficiles à mener à bonne fin. Lorsque l'on place le fer dans une

Le fer doux présente une autre singularité dans le voisinage de la température de 860°. Cette singularité n'est guère apparente sur la courbe ci-jointe, mais elle devient manifeste si l'on construit la courbe de $\log I$ (ou de $\log K$) en fonction de la température θ. Le coefficient angulaire des tangentes à cette courbe donne les valeurs de $\frac{1}{I}\frac{dI}{d\theta}$, expression qui, changée de signe, est la vitesse relative de chute de l'intensité d'aimantation avec la température.

La courbe ou $\log I$ a d'abord un premier point d'inflexion vers 750°, à une température voisine du point de transformation indiquant alors un maximum de vitesse relative de chute, puis la courbe a deux autres points d'inflexions, l'un à 840° et l'autre à 880°, qui indiquent respectivement pour ces températures un minimum et un maximum de $\frac{1}{I}\frac{dI}{d\theta}$. Ceci a été retrouvé sur les quatre échantillons étudiés à ces températures. La courbe de l'intensité d'aimantation en *fonction* de la température a, d'une manière générale, une allure hyperbolique entre 760° et 1.000°. Cependant, d'après ce qui précède, il y a une forte perturbation entre 850° et 890°. L'intensité d'aimantation a entre ces températures une valeur plus forte que celle qui conviendrait pour une pareille loi.

Lorsque la température du fer diminue à partir de

ampoule de platine, les deux métaux se pénètrent mutuellement par cémentation. Lorsque l'on emploie une ampoule de porcelaine émaillée, le fer l'attaque peu à peu par une chauffe prolongée. A ces températures élevées l'émail du four est fondu, la porcelaine est ramollie, le moindre contact accidentel entre l'ampoule et les parois du four amène une adhérence et il faut démonter tout l'appareil. Enfin les forces que l'on évalue sont de l'ordre de grandeur des dixièmes de milligramme.

la température de transformation, l'intensité d'aimantation pour un champ déterminé augmente, puis tend vers une valeur constante, indépendante de la température, et d'autant plus élevée que l'intensité du champ est plus forte (*).

Entre 20° et 720°, l'intensité d'aimantation tend vers une valeur constante quand l'intensité du champ augmente. Ceci porte à imaginer qu'il existe une certaine courbe limite $I' = f(\theta)$ vers laquelle tendraient les courbes actuelles $I = f(\theta)$, si l'on utilisait des champs magnétisants d'une intensité considérable. Cette courbe serait peu différente de la courbe correspondant à un champ de 1.300 unités, lorsque les températures sont comprises entre 20° et 730°; mais, à partir de 750°, elle s'en détacherait fortement. La courbe limite aurait nécessairement un point d'inflexion entre 730° et 800°. Pour une intensité de champ supérieure à 300, une courbe quelconque $I = f(\theta)$ se confondrait presque avec la courbe limite sur une portion de son tracé, d'autant plus long que le champ serait plus fort.

(*) Pour les champs peu intenses, l'intensité d'aimantation passe par un maximum à une température un peu inférieure à celle de transformation, puis décroît constamment, en même temps que la température. Ce dernier effet est très important dans les expériences de M. Hopkinson; il est dû, en grande partie, à une action indirecte provenant de ce que les phénomènes d'hystérésis magnétique diminuent quand la température augmente.

SUR

LA RÉFLEXION DES ONDES ÉLECTRIQUES

AU BOUT D'UN FIL CONDUCTEUR

QUI SE TERMINE DANS UNE PLAQUE (*)

Dans notre communication du 6 novembre 1893, nous avons cherché à mettre en évidence le mode suivant lequel les inductions électriques se propagent dans le milieu ambiant tout autour de l'extrémité libre d'un fil conducteur, le long duquel arrivent des ondes électriques.

Nous avons émis l'hypothèse que ladite réflexion résulte du fait que les tubes électriques atteignant le bout du fil sont obligés, par leur inertie, de continuer leur marche; ils s'incurvent alors, leur base contournant immédiatement l'extrémité du fil conducteur, tandis que les parties plus éloignées pivotent avec un retard angulaire (*fig.* 2, note précitée).

Cette incurvation des tubes semble indiquer qu'au moment où le tube arrive tout près du bout du fil, la vitesse suivant laquelle ses éléments se déplacent normalement à leur direction diminue, et cela d'autant

(*) *Comptes rendus*, 9 avril 1894. Note de MM. Ed. Sarasin et Kr. Birkeland, présentée par M. Poincaré.

plus que l'élément se trouve plus rapproché du fil conducteur.

Or, si on trace les courbes orthogonales sur les tubes électriques consécutifs, on voit sans peine, par un raisonnement géométrique, que le rayon de courbure r d'une de ces courbes est :

$$r = \frac{V_n}{V'_n},$$

où V_n est la projection de la vitesse sur la normale à la direction instantanée d'un élément de tube électrique, et V'_n sa dérivée par rapport à la normale à la trajectoire orthogonale.

En théorie, une telle variation de vitesse n'a rien d'invraisemblable, quand on considère qu'au moment où les tubes électriques arrivent avec une certaine densité au bout du fil qui les conduit, ils se trouvent en présence d'une capacité plus grande, c'est-à-dire dans une région où les tubes ont une tendance à s'accumuler, l'état électrique devenant statique.

Cette hypothèse sur la vitesse n'est pas infirmée par ce résultat expérimental qu'on ne trouve aucun retrait sensible du premier nœud, lorsqu'on fait les mesures à la surface même du fil conducteur. D'abord, la région où nous admettons ces vitesses diminuées est très peu étendue, puis notre formule pour r montre que même d'assez faibles variations de v^u sont suffisantes pour renvoyer, sous forme d'une onde « réfléchie », une quantité considérable de l'énergie, par ce fait que celle-ci se trouve si fortement accumulée, tout près de la surface métallique du fil conducteur.

Pour confirmer et compléter nos vues sur la nature de la réflexion, nous avons, en dernier lieu, étendu nos

recherches au cas où l'extrémité du fil conducteur précédemment libre est armé d'un disque métallique. Nous avons employé, à cet effet, des disques de laiton de 5, 10, 15, 24, 32, 40, 60 centimètres de diamètre, et enfin une grande plaque de zinc de $2 \times 1{,}3$mq de surface, fixés normalement sur l'extrémité du fil.

Avec ces plaques, nous avons d'abord déterminé les trois premiers nœuds aux distances 2 et 30 centimètres du fil conducteur, en employant notre petit cercle de $10^{cm},5$ de diamètre. Les résultats numériques sont donnés par les séries 1 et 2 du tableau ci-dessous. Tous ces chiffres sont les moyennes de dix mesures.

Nous avons fait la même série de mesures pour le cercle de 25 centimètres de diamètre, mais à la seule distance de $2^{cm},5$ du fil.

La série III donne les résultats, comme moyenne, de cinq mesures. En outre, nous avons précédemment fait une série de mesures semblables pour un second carré donnant Ca. $3^{m},5$ d'internœud :

		L'EXCÉDENT libre	PLAQUE DE							
			5^{cm}	10^{cm}	15^{cm}	24^{cm}	32^{cm}	40^{cm}	60^{cm}	$2 \times 1{,}3$mq
		cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.	cent.
I	1er nœud	16,0	11,1	7,2	4,3	»	»	»	»	»
	2e —	56,4	51,2	45,2	43,8	41,1	»	39,0	»	38,6
	3e —	96,5	89,0	84,0	81,1	79,2	»	79,8	»	76,3
II	1er nœud	7,7	1,4	6,1	»	»	»	»	»	»
	2e —	51,5	46,4	40,4	37,7	34,5	»	35,0	»	37,8
	3e —	93,5	86,7	79,8	78,9	76,9	»	75,4	»	77,2
III	1er nœud	45,3	42,5	35,0	30,0	21,6	13,5	»	»	»
	2e —	156,5	150,6	139,4	133,5	123,8	117,3	116,0	111,7	107,0
	3e —	265,0	»	250,0	235,8	230,9	224,9	224,3	219,0	214,0

En second lieu, nous avons aussi, avec la plupart de nos plaques, cherché les orientations du cercle de $10^{cm},5$, pour lesquelles l'effet total des deux chocs

qui en excitent les oscillations, est aussi grand que possible.

Les figures ci-dessous représentent les résultats obtenus : 1° pour la plaque de 10 centimètres ; 2° pour la grande plaque de $2 \times 1,3$ mq.

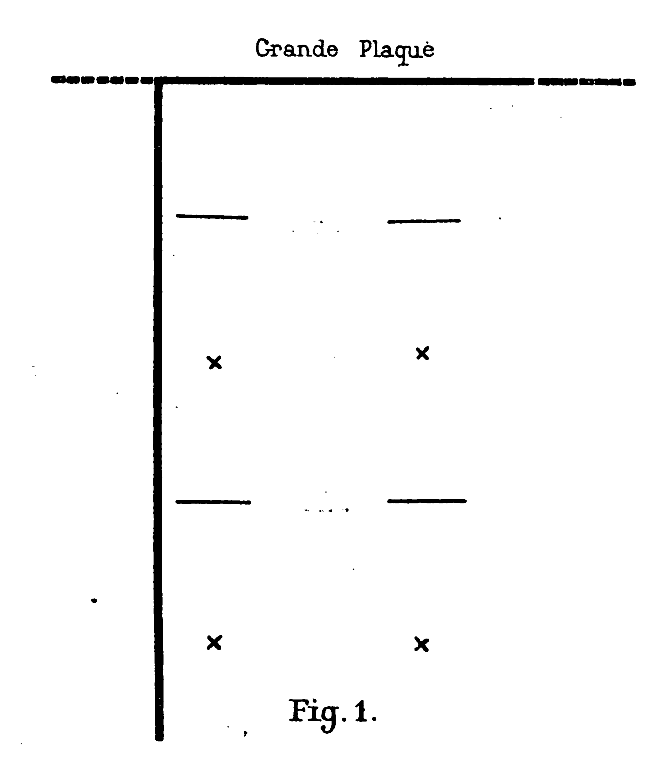
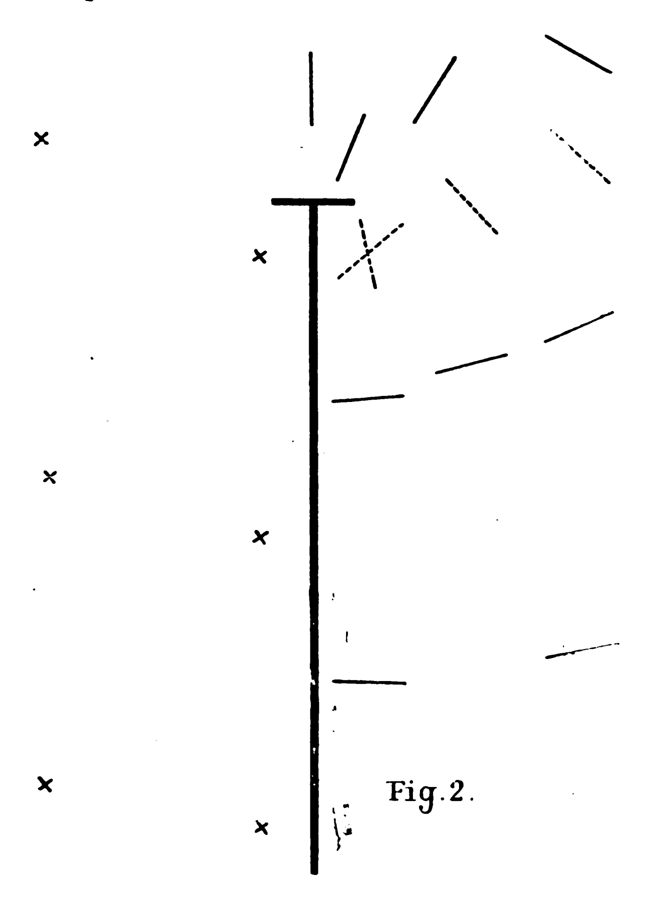


Fig. 1.

Les nœuds sont indiqués, dans la même figure, par de petites croix correspondant à la position du centre du cercle.

Notre tableau numérique montre que tous les nœuds se retirent aussitôt que l'extrémité du fil conducteur est armée d'une plaque, et l'on observe que, quand les

plaques sont très petites par rapport à la longueur d'onde, ce retrait des nœuds est sensiblement égal au diamètre de la plaque, tandis que, pour des plaques de plus en plus grandes, le retrait approche de la limite $\frac{2}{4}$.



Ce résultat, comparé avec ceux obtenus pour les orientations d'effet maximum représentés dans la

figure, semble indiquer que pour les petites plaques la *réflexion* est essentiellement de même nature que pour l'extrémité libre du fil conducteur, c'est-à-dire que les tubes de Faraday tournent autour des plaques.

Tandis que, avec des plaques de plus en plus grandes, on voit se produire à la surface métallique une réflexion réelle de plus en plus marquée, qui en vient à masquer complètement l'onde contournant la plaque.

Nous avons pu, jusqu'à un certain point, contrôler cette conclusion. En terminant le fil conducteur avec des disques de 80 et 10 centimètres de diamètre, nous avons bien nettement trouvé un maximum d'*effet électrique* sur notre petit résonnateur de $10^{cm},5$ derrière la plaque, dans le voisinage immédiat de son centre, où doivent, dans notre hypothèse, converger les tubes qui la contournent.

L'étincelle observée avec le résonnateur placé en face du centre de la plaque, son plan normal à celle-ci, s'éteignait ordinairement à 20 centimètres environ de ce point pour reparaître quelquefois, mais très difficilement, dans le voisinage du bord de la plaque.

En discutant ce dernier résultat, il faut se rendre compte que les phénomènes d'interférences doivent être voilés, par ce fait que les tubes électriques sont probablement de plus en plus raréfiés à mesure qu'on se rapproche des bords du disque, la surface sur laquelle ils se répartissent étant plus grande.

Nos résultats s'appliquent aussi à l'excitateur de Hertz.

Là les disques formant les capacités sont toujours petits par rapport à la longueur d'onde, de sorte que les tubes de Faraday font le tour autour d'eux avec

une vitesse variable ayant comme limite supérieure la vitesse de la lumière. S'il en est ainsi, il faut que la longueur du contour d'une section méridienne, d'un excitateur de révolution soit toujours inférieure à la longueur d'onde correspondante, ce qui est vrai pour les excitateurs que nous connaissons.



CHRONIQUE.

Sur la valeur de l'ohm théorique.

Note de M. A. Leduc, présentée par M. Lippmann.

Les diverses méthodes proposées pour la détermination de l'ohm, à part la méthode d'amortissement et la méthode calorimétrique, qui présentent des difficultés spéciales, ont, après une assez longue période d'essais, fourni entre les mains d'habiles expérimentateurs, des nombres concordant au delà du millième.

D'après les plus récentes expériences de lord Rayleigh, de MM. Kohlrausch, Rowland, Mascart, de Nerville et Benoît, la longueur de la colonne mercurielle à 0°, destinée à représenter l'ohm théorique, paraît devoir être légèrement supérieure à 106^{cm},3.

Ainsi que le fait remarquer M. Mascart, un certain nombre de causes d'erreur, telles que les défauts d'isolement, auraient pour effet d'affaiblir les valeurs trouvées, de sorte que les nombres les plus élevés sont aussi les plus probables.

D'un autre côté, la méthode imaginée par M. Lippmann et appliquée sous ses yeux par M. Wuilleumier (*) paraît à l'abri de toute critique et se recommande tout spécialement par la précision avec laquelle peuvent être effectuées les déterminations, d'ailleurs peu nombreuses, qu'elle nécessite.

Cependant, M. Wuilleumier a obtenu le nombre 106,267 sensiblement inférieur aux précédents. Nous allons trouver l'explication de cet écart (si faible d'ailleurs que l'auteur l'a jugé insignifiant) en examinant la *correction des bouts* qui a été déterminée expérimentalement.

(*) *Annales télégraphiques*, t. XVIII, 1890, p. 276.

La méthode consiste, comme on le sait, à produire une force électromotrice d'induction par la rotation uniforme d'un cadre dans le champ H produit au centre d'une bobine longue de 2 mètres et large de $0^m,30$. On équilibre cette force électromotrice au moment où elle passe par son maximum $SH\omega$, au moyen de la différence de potentiel créée par le courant inducteur I traversant une certaine résistance r $\left(\frac{1}{3}\text{ d'ohm environ}\right)$; celle-ci est formée par un ruban de maillechort de section considérable et de 34 mètres de longueur environ.

L'équilibre obtenu, on a

$$rI = SH\omega.$$

Si la bobine était infiniment longue, on aurait à l'intérieur un champ uniforme $H = 4\pi nI$. On peut le représenter, en général, par $4\pi nI(1-k)$, de sorte que l'équation fondamentale devient

$$r = 4\pi nS\omega(1-k). \quad (1)$$

On voit aisément que, pour un point donné du champ, $k = \frac{a+a'}{4\pi}$, si l'on désigne par a et a' les angles solides ayant leur sommet en ce point et s'appuyant sur les deux bouts de la bobine, ou, si on le préfère, sur le bout le plus rapproché de chacune des bobines par lesquelles il faudrait prolonger la bobine réelle pour la rendre infiniment longue.

Au centre du champ $a = a'$. Si l'une de ces bobines complémentaires se place successivement à des distances d_1, d_2..., du point considéré, suffisamment grandes vis-à-vis de son diamètre, on a sensiblement $ad^2 = \text{const.}$, cette relation étant d'autant plus approchée que a est plus petit. Si donc on donne successivement à d les valeurs : 1^m, 3^m, 5^m, 7^m, etc., l'angle solide a variera à peu près dans le rapport de 1 à $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{49}$, etc., ainsi que le champ moyen produit à l'intérieur du cadre tournant par cette bobine complémentaire.

En fait, après avoir déterminé la longueur l du ruban

dont la résistance r entre dans la formule (1), on transporte la bobine inductrice dans une position telle qu'elle fasse suite exactement à la première, et l'on détermine la longueur l_1 du ruban telle que la différence de potentiel créée entre ses extrémités par le courant I équilibre la force électromotrice maxima produite dans le cadre tournant par le champ de la bobine dans cette nouvelle position. En l'éloignant encore de 2 mètres, on obtient de même une nouvelle longueur l_2. En l'éloignant encore de 2 mètres, c'est-à dire en mettant son extrémité la plus voisine à 5 mètres du centre du cadre tournant, on aurait une longueur l_3, et ainsi de suite; mais M. Wuilleumier n'ayant trouvé dans cette dernière position aucune force électromotrice appréciable, a considéré la correction l_3 comme négligeable, ainsi que les suivantes.

Or, la longueur l_1 du ruban correspond à la différence des actions de la bobine complémentaire indéfinie placée successivement à 1 mètre, puis à 3 mètres, c'est-à-dire à la différence des angles solides a et $\frac{a}{9}$, ou enfin aux $\frac{8}{9}$ de la correction $\frac{a}{4\pi}$.

De même, et plus exactement, l_2 représente $\frac{a}{4\pi}\left(\frac{1}{9}-\frac{1}{25}\right)$; l_3 représenterait $\frac{a}{4\pi}\left(\frac{1}{25}-\frac{1}{49}\right)$, etc.

Or, on a trouvé $l_1 = 17^{cm},6$ et $l_2 = 1^{cm},45$. On aurait dû trouver $l_3 = 0^{cm},4$. En négligeant l_3, etc., on a omis en définitive $\frac{1}{25}$ environ de la correction totale. Comme $\left(\frac{1}{9}-\frac{1}{25}\right)$ de celle-ci est assez bien représenté par $1^{cm},45$, on en conclut qu'il aurait fallu ajouter aux longueurs l_1 et l_3 $0^{cm},8$ environ soit, pour la somme des corrections aux deux bouts, $1^{cm},6$.

L'erreur relative commise sur la longueur totale du ruban de maillechort, et, par suite, sur l'ohm est donc $\frac{1,6}{3.400}$, c'est-à-dire près de $\frac{1}{2000}$.

L'ohm théorique doit donc être représenté, d'après ces expériences, par une colonne de mercure à 0° de 1 millimètre

cube de section et $106^{cm},32$ de longueur, au lieu de $106^{cm},267$.

Ce résultat est en parfaite coïncidence avec la moyenne des meilleures déterminations, et l'on voit que la méthode de M. Lippmann conduit plus simplement et plus sûrement que les autres à cette conclusion : qu'il convient d'adopter la longueur $106^{cm},3$ comme approchée à moins de $\frac{1}{2000}$ près par défaut.

(*Comptes rendus*, 4 juin 1894, p. 1246.)

Diélectrine.

M. Hurmuzescu présente un certain nombre d'appareils employés dans les expériences d'électricité statique où le diélectrique est une substance particulière, douée de propriétés très remarquables ; l'auteur l'appelle *diélectrine*. C'est un mélange de paraffine et de soufre, qui est bien préférable à l'un ou à l'autre de ces isolants : il est plus dur, moins fusible que le premier, moins cassant et moins hygrométrique aussi que le second.

Grâce à un dispositif spécial employé par M. Chabaud, on parvient à mouler ce produit ; on l'obtient bien homogène, très dur, facile à travailler au tour ou à la lime ; aussi peut-on lui donner diverses formes.

M. Hurmuzescu montre à la Société : des bagues, des supports, une bobine, des manches de plan d'épreuve, un électrophore où le disque métallique en aluminium porté par un manche en diélectrine repose sur un gâteau en diélectrine ; avec cet électrophore on obtient des étincelles de $0^{m},02$ de long ; il reste chargé très longtemps et fonctionne même à l'humidité.

L'auteur présente enfin des électroscopes où le support de la tige à laquelle sont attachées les feuilles d'or est un disque en diélectrine (la cage de l'électroscope est métallique pour éviter les charges par convection).

La nouvelle substance, très inaltérable, comme le prouvent des échantillons parfaitement conservés depuis 1892, rendra

de grands services pour les isolements, surtout dans les endroits humides. A la séance de Pâques, l'auteur exposera divers appareils, en particulier deux machines électrostatiques construites par M. Chabaud.

(*Séances de la Société française de physique*, 1894).

L'Éditeur-Gérant : Vve Ch. Dunod et P. Vicq.

14.9.94

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1894



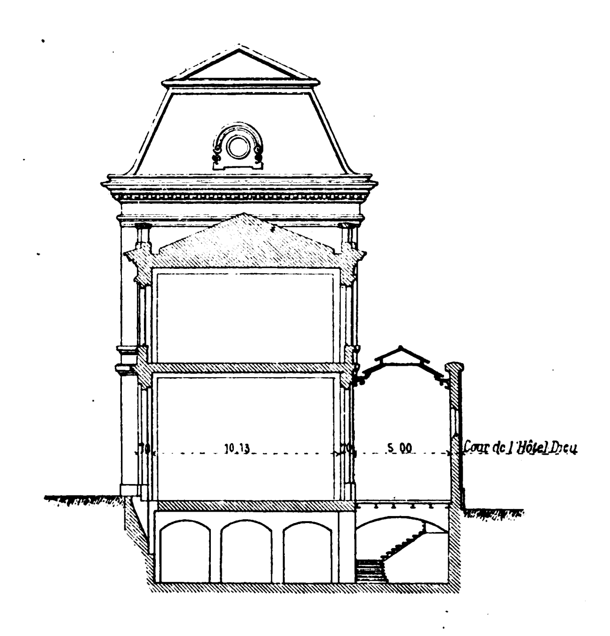
Juillet - Août

NOUVEAU POSTE CENTRAL TÉLÉGRAPHIQUE DE LYON

C'est à la suite d'une expropriation de l'immeuble qu'il occupait place de la République que le poste central télégraphique de Lyon a été transféré, le 20 juillet 1893, rue de la Barre, à proximité de la place Bellecour.

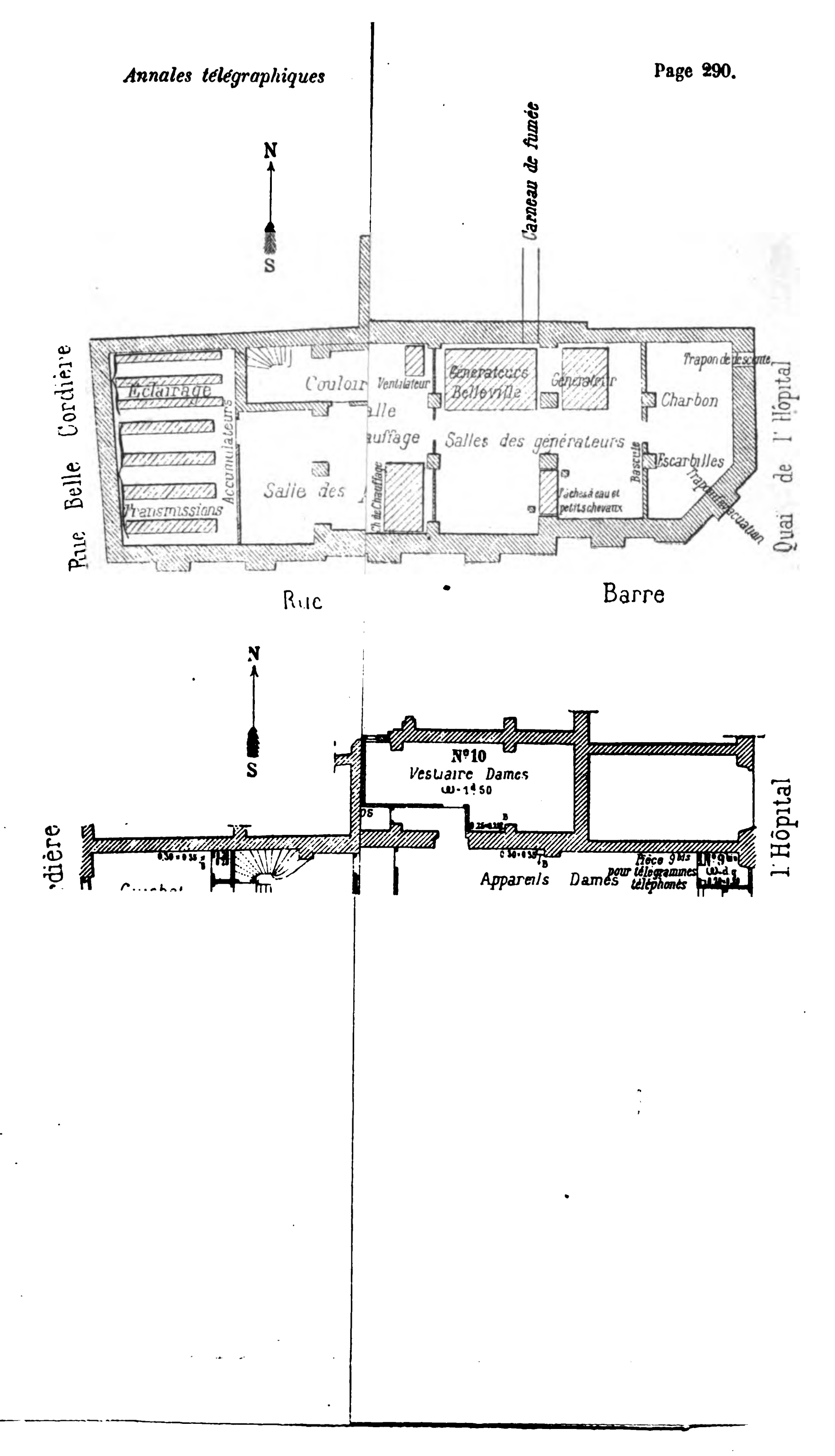
Le nouvel immeuble, qui appartient aux hospices civils de Lyon et qui est d'une construction neuve et soignée, n'avait encore jusqu'ici reçu aucun aménagement intérieur; des emplacements y furent disposés pour les postes centraux télégraphique et téléphonique. Le sous-sol fut ainsi affecté aux machines motrices et aux piles, le rez-de-chaussée aux salles télégraphiques et le premier étage réservé pour les téléphones.

L'administration des hospices assura, après entente, les aménagements, et l'installation télégraphique entreprise aussitôt après dura trois mois. Les machines motrices établies bien postérieurement au 20 juillet 1893, ont exigé quelques mesures provisoires dont il est question ci-après.



Coupe transversale *(1/400)*

Les premières études de l'installation furent entreprises sous la direction de M. Darcq, inspecteur général adjoint, puis, notamment pour l'atelier de force motrice, continuées par son successeur M. Wünschendorff.


N
S
Carneau de fumée
Rue Belle Cordière
Eclairage
Transmissions
Accumulateurs
Couloir
Salle des
Ventilateur
Générateurs Belleville
Générateur
Salles des générateurs
Trapon de descente
Charbon
Escarbilles
Bascule
Quai de l'Hôpital
Rue
Barre
N°10
Vestiaire Dames
Appareils Dames
l'Hôpital


PATENT OFFICE
LIBRARY
OCT 1959
PATENT OFFICE LIBRARY

I. Installation télégraphique.

Le nombre des fils souterrains (en service ou disponibles) à introduire au nouveau bureau était à peu près de 300. Une partie y fut amenée au moyen de dérivations tenues soigneusement isolées, et le reste, partie la plus importante, par des fils formant boucle et destinés à être coupés au moment du transfert; car le branchement sud des lignes urbaines passait près du nouveau bureau et l'importance en était égale à celle du branchement nord, de sorte que la partie à abandonner du branchement sud devait prolonger tout le branchement nord.

Comme ces opérations étaient préparées à l'avance et que les nouveaux appareils étaient en place, le transfert a pu s'opérer en quelques instants pendant la nuit, au moment où le service était à peu près nul.

La reconnaissance préalable de tous les fils et l'essai des appareils assuraient, d'autre part, la réussite de l'opération.

La superficie du nouveau bureau occupée spécialement par les appareils télégraphiques est de 600 mètres carrés. Il peut recevoir :

65 appareils Morse.
55 — Hughes.
3 — Baudot quadruples.
6 — Baudot doubles.
4 translations Baudot tournantes.
40 relais D'Arlincourt-Willot.
3 installations de relais Baudot ou Preece.

Il dispose, en outre, de six appareils Morse pour le service des dérangements et de rentrée immédiate sur les fils.

Sa position de bureau intermédiaire pour les communications de Paris avec l'Italie et le Midi de la France donne un intérêt particulier à la salle des relais et de coupure des fils. Les avis de service pour rentrer sur les fils ou surveiller les relais y sont chaque jour très nombreux (200) et exigent un personnel bien exercé. Il importe donc de faciliter les recherches et les manœuvres nécessaires.

C'est pourquoi les fils de ligne disposés d'abord sur une première rosace de coupure, suivant l'ordre des câbles, sont amenés ensuite sur une deuxième rosace où ils sont classés dans l'ordre croissant des numéros de la nomenclature; c'est aussi pourquoi les fils de raccordement intérieurs de cette rosace aux relais sont coupés devant les appareils Morse de rentrée par des commutateurs à quatre directions qui permettent d'unir rapidement les côtés nord et sud d'un fil par relais ou par communication directe, ou de les placer l'un sur appareil Morse, l'autre sur sonnerie d'attente.

Les fils joignant les rosaces aux appareils suivent des caniveaux établis dans le parquet et leur tracé est partout distinct des autres canalisations électriques pour les moteurs ou l'éclairage.

Tous les bâtis d'appareils Hughes sont du modèle André déjà adopté en plusieurs cas par l'administration.

Le fil de terre assez important (*) pour faciliter la décharge des fils de ligne en temps d'orage est noyé dans un puits voisin creusé pour les besoins du bureau.

(*) Le fil de terre a été constitué par plusieurs câbles en fil de fer de 4 millimètres, composés chacun de dix-neuf fils, et dont les extrémités disposées en couronne reposent au fond du puits. Leur longueur ne dépasse pas 40 mètres et la résistance de prise est considérée comme négligeable.

La substitution des accumulateurs aux piles avait été admise, mais le transfert hâtif obligeait à recourir encore, bien que d'une manière provisoire, aux éléments Callaud. L'ancien bureau employait de 7 à 8.000 de ces éléments, quoique la disposition en échelle d'Amsterdam y fut partiellement appliquée. Le montage de tous ces éléments avait été autorisé dans la nouvelle installation, mais les efforts tendirent à le réduire, autant que possible, et à le rendre conforme à celui qui devait lui être substitué plus tard, c'est-à-dire à employer une seule pile positive et une seule pile négative.

Un calcul sommaire, puis l'expérience montrèrent qu'on pouvait éviter de multiplier les prises de courant et qu'une échelle de potentiels graduée de 12 en 12 volts correspondant à 6 éléments d'accumulateurs pouvait suffire.

Les deux piles disposées en échelle d'Amsterdam furent ensuite calculées en admettant un débit maximum de 1 ampère pour la positive et de $0^{A},5$ pour la négative; et en consentant un coefficient de 20 p. 100 pour l'affaiblissement des potentiels.

C'est ainsi qu'un montage de 1.100 éléments pour la pile positive et de 600 pour la pile négative fut mis à l'essai d'une manière progressive à l'ancien bureau avant le transfert et donna des résultats concluants, dès qu'on eût pris dans les appareils Hughes et Baudot diverses précautions analogues du reste à celles qu'exige l'emploi des accumulateurs.

Il fut donc réalisé sans hésitation dans la nouvelle installation et il n'a cessé d'y bien fonctionner durant huit mois jusqu'à la substitution des accumulateurs. Quelques piles locales supplémentaires avaient cepen-

dant été établies pour le fonctionnement des électro-aimants imprimeurs des appareils Baudot, ainsi qu'une pile d'essai, formant avec les précédentes un total de 2.000 éléments, c'est-à-dire à peu près le quart de l'ancienne installation.

Ce résultat indique l'économie d'éléments qu'il serait possible de faire dans les bureaux importants.

L'échange intérieur des télégrammes s'exécute par tubes et par air comprimé.

Le guichet envoie les télégrammes de départ aux deux salles d'appareils; celles-ci font entre elles leurs échanges d'une manière indépendante par deux lignes distinctes, et les facteurs distributeurs reçoivent de la salle des hommes qui concentre les télégrammes d'arrivée.

L'uniformité de l'heure est partout assurée au moyen de pendules électriques qui dépendent d'un régulateur commun.

Un éclairage provisoire avec des lampes à pétrole précédant l'éclairage électrique a donné pleine satisfaction; une cinquantaine de grosses lampes dites de 100 lignes étaient entretenues par le fournisseur, et le prix de revient de l'ensemble n'a pas été supérieur à celui de la consommation du gaz dans l'ancien bureau pendant une durée égale.

L'échange provisoire des télégrammes avec le bureau de la place des Terreaux s'effectuait par facteurs vélocipédistes.

II. Atelier de force motrice.

L'ancien atelier produisait l'air comprimé et raréfié nécessaire à l'échange des télégrammes avec le bureau

des Terreaux et élevait l'eau consommée dans l'immeuble et dans les turbines Humblot qui donnaient le mouvement aux appareils Hugues et Baudot.

Mais la force motrice y était déjà insuffisante pour l'air comprimé, et le transfert en augmentant la longueur des lignes pneumatiques accentuait cette insuffisance. En outre plusieurs améliorations étaient admises dans le nouveau bureau, telles que les moteurs électriques pour remonter les poids d'appareils, et les accumulateurs pour les transmissions télégraphiques, puis l'éclairage électrique, en sorte qu'une réorganisation complète de l'atelier s'imposait.

Voici d'ailleurs les solutions données à ces diverses questions d'air comprimé, d'énergie électrique, ainsi qu'au chauffage et à la production générale de vapeur.

1° *Air comprimé.*

La longueur des lignes pneumatiques en tuyaux de 0,065 est de 3^{km},200.

Pour activer l'échange des trains à l'extérieur et surtout à l'intérieur du bureau, et aussi pour constituer une certaine réserve de force dans l'avenir, la quantité d'air à comprimer et à raréfier fut fixée à 5 mètres cubes par minute.

La marche actuelle du service peut d'ailleurs s'effectuer sans le secours du vide et à une vitesse inférieure de 1/4 à la vitesse normale de 80 tours par minute.

Le moteur à vapeur commande un groupe de deux compresseurs, l'un pour le vide, l'autre pour la pression. Ces compresseurs sont semblables et à double effet; leurs clapets occupent les fonds des cylindres et l'eau de rafraîchissement circule autour de leur surfaco

DYNAMOS BROWN. —

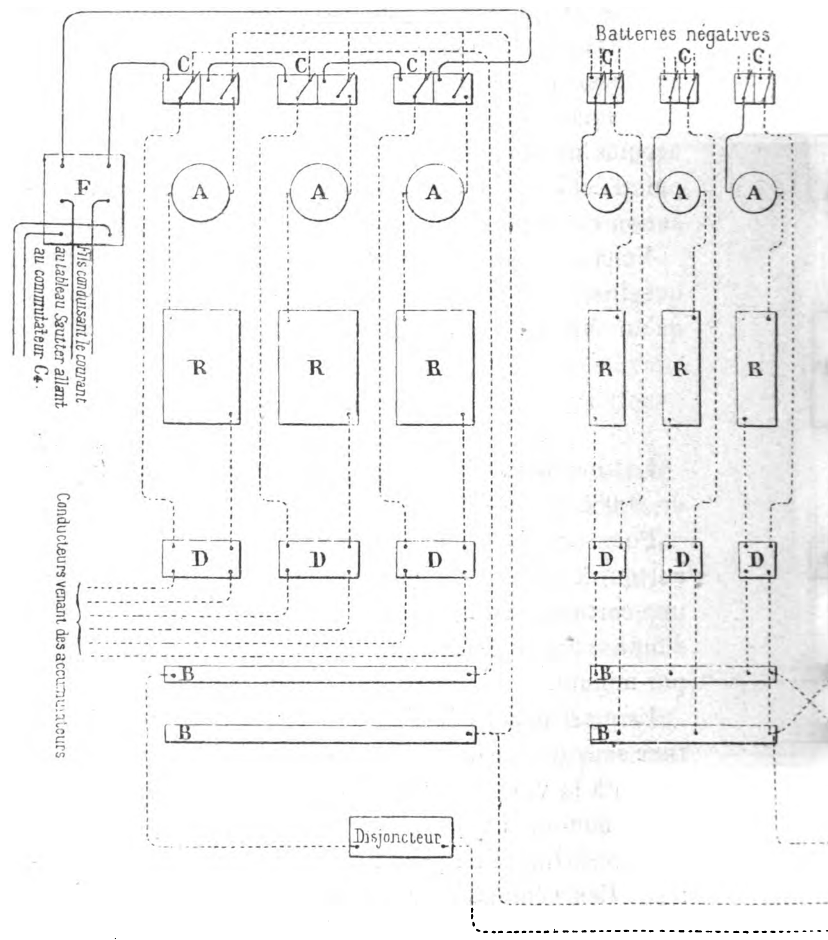
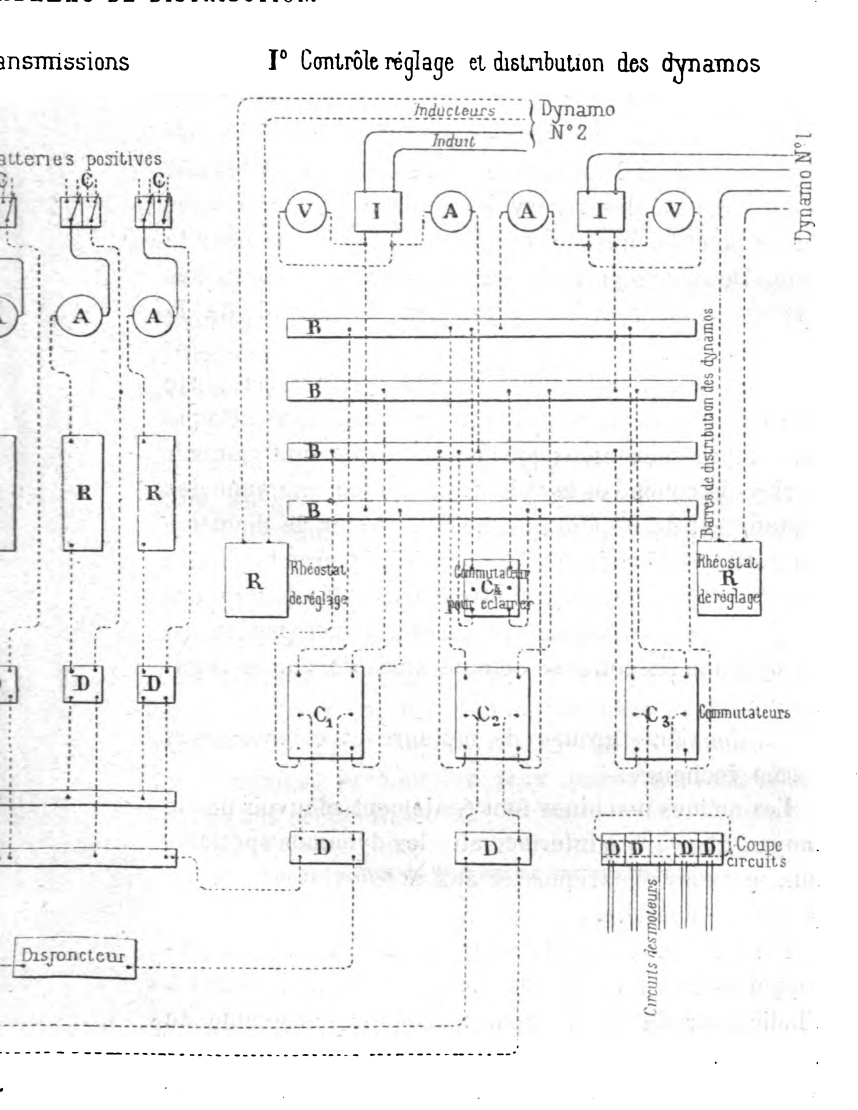


Fig.

ABLEAU DE DISTRIBUTION.



latérale. Leurs pistons ont un diamètre de $0^m,350$ et une course de $0^m,400$.

Lorsque à la vitesse de 80 tours, la compression s'effectue à $0^m,60$ de mercure au-dessus et à $0^m,50$ au-dessous de la pression atmosphérique, le travail absorbé est de 15 chevaux-vapeur. Une partie importante de ce travail est perdue par l'échauffement de l'air.

La capacité des réservoirs à air est de 20 mètres cubes pour la pression et de 10 mètres cubes pour le vide. Deux manomètres enregistreurs sont branchés sur ces réservoirs et contrôlent le travail de la journée.

Le moteur à vapeur est à deux cylindres en sorte que chacune des tiges arrière de ces pistons attaque un compresseur tandis que les tiges avant font mouvoir l'arbre de couche et le volant. La course commune des pistons est de $0^m,400$ comme il a été vu, le diamètre du petit cylindre de $0^m,230$ et celui du grand cylindre de $0^m,400$. La vapeur peut être admise à 9 kilogrammes de pression par centimètre carré; la distribution est du système Farcot avec détente variable par le régulateur.

Un deuxième groupe de moteurs et compresseurs forme rechange.

Les mêmes machines font également mouvoir par le moyen d'un arbre intermédiaire les dynamos spéciales aux moteurs électriques et aux accumulateurs et les pompes élévatoires.

Pendant les essais de réception, les machines développaient une force de 36 chevaux-vapeur, mesurés à l'indicateur de Watt, pour accomplir l'ensemble du travail demandé au marché. La pression initiale de la vapeur était de $7^{kg},750$, le degré d'admission de

23 p. 100, la pression au condenseur de $0^{kg},125$ et la consommation de vapeur de 8 kilogrammes par heure et par cheval indiqué. L'ensemble de l'énergie produite, air comprimé, électricité et eau en charge, représentait 25 chevaux-vapeur et un rendement général des moteur, transmissions et organes de transformation égal à 78 p. 100.

2° *Moteurs électriques et accumulateurs.*

L'énergie électrique nécessaire est donnée par deux dynamos Brown de 55 volts et de 100 ampères. Le voltage de 55 volts a été fixé d'après les besoins des moteurs d'appareils.

Ces dynamos sont bipolaires, à anneau Gramme et excitation dérivée. L'anneau Gramme est très favorable au refroidissement de l'induit et l'excitation dérivée des inducteurs est réclamée par la destination des dynamos à la charge des accumulateurs. La vitesse atteint 1.400 tours par minute, et la force absorbée en pleine marche est de 9 chevaux-vapeur par machine.

Le courant est amené (voir *fig.* IV) sur un tableau divisé en trois parties dont la première contient les appareils de contrôle, de réglage et de distribution des dynamos, et dont les deux autres servent à la charge des accumulateurs.

Légende du tableau de distribution des dynamos Brown.

I. *Contrôle et réglage des dynamos.*

I, interrupteurs rapides.
A, ampèremètres.
V, voltmètres.
B, barres de distribution.
R, résistances de réglage des dynamos.
C_1, commutateur des dynamos pour les accumulateurs de transmission.

C_2, commutateur des dynamos pour les accumulateurs d'éclairage.
C_3. commutateur des dynamos pour les moteurs.
C_4, commutateur des dynamos pour l'éclairage restreint du sous-sol pendant le jour.
DDDD, coupe-circuits.

II. *Accumulateurs de transmission.*

D, disjoncteur.
BB, barres de distribution.
RRR, rhéostats de réglage.
AAA, ampèremètres,
CCC, commutateurs doubles à deux directions pour la charge de quatre batteries.
DDD, coupe-circuits.

III. *Accumulateurs d'éclairage.*

D, disjoncteur.
BB, barres de distribution.
CCC, commutateurs doubles à deux directions, pour la charge en quantité et la décharge en tension.
AAA, ampéremètres.
RRR, rhéostats variables de réglage de $0^A,5$.
DDD, coupe-circuits.
F, commutateur à deux directions envoyant au tableau général de l'éclairage le courant des accumulateurs ou celui de la dynamo Brown. (Les communications de ce commutateur F avec le commutateur C_4 n'ont pas été représentées sur la figure.)

En suivant les communications de la première partie, on rencontre successivement, un interrupteur rapide, un ampèremètre, un voltmètre, la résistance de réglage du courant dans les inducteurs, et les deux barres de distribution distincts pour chaque dynamo, puis trois commutateurs de distribution aux moteurs et aux accumulateurs, et les coupe-circuits généraux des trois dérivations.

A. *Moteurs d'appareils.* — Ils sont du type Postel-Vinay, à enroulement Siemens et à excitation en série. Ils peuvent fonctionner avec 35 volts aux bornes et une intensité de $0^A,56$. Le bureau étant, par son montage, susceptible de recevoir une centaine de ces

moteurs et la disposition des lieux aidant, quatre circuits distincts, en câble de 10 millimètres carrés de section ont été établis sous moulures au-dessus des plinthes.

B. *Accumulateurs pour les transmissions télégraphiques.* — L'élément choisi est l'accumulateur Tudor, d'une capacité de 75 ampères-heure avec un poids d'électrodes de $12^{kg},750$, déjà en usage au poste central de Paris.

Quatre batteries de 54 éléments chacune forment deux piles positives et deux piles négatives pour le service et le rechange.

Le voltage d'un élément pouvant atteindre jusqu'à $2^{volts},6$ vers la fin de la charge; chaque batterie est divisée pour la charge en trois séries égales de 18 éléments qui exigent une force électromotrice de 50 volts et un courant total de $22^{A},5$.

En se reportant à la deuxième partie du tableau de distribution, on peut suivre la marche du courant des dynamos depuis le commutateur et le coupe-circuit principal à travers un disjoncteur, de nouvelles barres de distribution, les trois séries parallèles de coupe-circuits, résistance, ampèremètre, puis par les commutateurs à deux directions qui permettent la charge alternative des deux batteries positives et des deux batteries négatives.

Les résistances donnent le moyen d'égaliser le courant de charge dans les trois séries parallèles et de le modérer à $7^{A},5$; le disjoncteur rompt le circuit quand le voltage de la batterie atteint celui de la dynamo.

L'attention pendant la charge se porte sur la régu-

larité des dégagements gazeux qui faisant défaut plus ou moins complètement dans un élément révèlent des court-circuits à l'intérieur de cet élément produits par le gondolement des plaques ou par des corps étrangers.

La charge est complète quand les dégagements gazeux ont à peu près disparu.

La décharge d'une batterie s'opère en réunissant en tension ses trois séries par la manœuvre de l'un des deux commutateurs ci-après.

Les prises de courant ont lieu de 6 en 6 éléments et constituent l'échelle graduée de 12 en 12 volts jusqu'à 108 volts.

Un premier commutateur sert à la mise en service de l'une ou l'autre batterie de même nom, et rentre dans le genre des commutateurs à deux directions; l'autre commutateur donne la faculté de permuter entre elles les trois séries d'une batterie et de prendre successivement l'une d'elles pour base ce qui équilibre le travail des éléments et prolonge l'usage de la batterie durant quinze jours sans avoir à lui communiquer une nouvelle charge. C'est un commutateur à permutation circulaire.

Des coupe-circuits existent avant toute introduction de commutateurs sur les fils de décharges.

Les conducteurs sont des câbles à isolement fort constitué par deux couches de caoutchouc et par un ruban caoutchouté; ils sont de 22/10 pour les fils de décharge et de 27/10 pour ceux qui servent à la fois à la charge et à la décharge. Ils sont placés dans des gaines en bois et séparés les uns des autres par des taquets.

Dans la chambre des accumulateurs, les éléments reposent sans se toucher sur des étagères à un seul

étage par l'intermédiaire de disques en verre, et les pieds d'étagères sont eux-mêmes séparés du sol par des isolateurs en porcelaine remplis d'huile lourde.

Toutes ces dispositions assurent un bon isolement et facilitent la surveillance.

c Accumulateurs pour l'éclairage.

Il convient de parler immédiatement de ces accumulateurs dont la charge est faite par les dynamos Brown précédentes ; leur fonction est d'assurer l'éclairage électrique de minuit au jour après l'arrêt des machines spéciales de l'éclairage.

C'est toujours le modèle Tudor d'une capacité de 200 ampères-heure avec un poids d'électrodes de 35 kilogrammes, supportant à la charge un courant de 20^A et à la décharge un courant de 20 à 30^A. L'élément est renfermé dans une caisse en bois doublée de plomb et les mêmes précautions déjà vues pour isoler les éléments des étagères et celles-ci du sol sont encore renouvelées.

Leur nombre est de 60 pour donner 110 volts à la fin de la décharge, et ils sont divisés pour la charge en trois séries égales. Le réglage de la tension est expliqué ci-après.

La troisième partie du tableau de distribution qui leur est affectée comprend comme pour l'accumulateur du type précédent un disjoncteur, deux barres de distribution et trois commutateurs doubles à deux directions. Les conducteurs des trois séries d'éléments traversent des coupe-circuit, résistance et ampèremètre, et sont rattachés aux trois commutateurs doubles à deux directions qui dans leur manœuvre, unissent les séries en tension pour la décharge ou bien les établissent parallèlement en communication avec les barres

déjà citées. Les câbles conducteurs ont 30 millimètres carrés de section ; ils sont placés dans des gaines et séparés par des tasseaux.

Les accumulateurs alimentent pendant la nuit deux arcs de 13^A et quelques lampes à incandescence de $0^A,5$, la consommation restant inférieure à 20^A. Le réglage de leur force électromotrice à 110 volts s'opère au moyen de résistances introduites dans le circuit qu'on diminue suivant les besoins. Une transmission mécanique par leviers permet de commander du rez-de-chaussée soit le réglage, soit l'extinction.

Pour activer l'aération de la salle des accumulateurs, un petit ventilateur électrique de 10 kilogrammètres expulse l'air dans une gaine de cheminée. Enfin, par mesure de précaution, la prise d'air qui donne sur la rue est protégée par une toile métallique peinte.

3° *Élévation d'eau.*

L'eau nécessaire aux machines (alimentation et condensation) et à l'immeuble (water-closets et urinoirs), atteint de 20 à 30 mètres cubes par heure. Elle est donnée par un puits creusé au voisinage, mais en dehors de l'immeuble.

Ce puits suit les fluctuations du Rhône ; son niveau, à l'étiage, est à $3^m,50$ en contre-bas du sous-sol, mais pendant les basses eaux la dénivellation peut atteindre 5 mètres. Sa profondeur a été, par suite, conduite à 3 mètres sous l'étiage du Rhône, et sa section déterminée à $2^m,30$ de diamètre. La section en effet constitue seule la surface filtrante ; quand à la vitesse de filtration, elle est considérée comme proportionnelle à la charge, c'est-à-dire à la différence de niveau entre la nappe extérieure et le plan d'eau du puits.

La pompe élévatoire placée au sous-sol est une pompe Audemar à deux cylindres et à double effet qui est capable à son allure normale de débiter 25 mètres cubes par heure. Elle déverse l'eau dans une bâche voisine de 12 mètres cubes, où s'alimentent les pompes des condenseurs des machines motrices et une deuxième pompe du même constructeur, plus petite dont la fonction est de donner l'eau nécessaire au refroidissement des compresseurs d'air et à l'alimentation des générateurs de vapeur (2 mètres cubes par heure), et aux réservoirs situés dans les combles à 20 mètres de hauteur pour les water-closets et les urinoirs (4 mètres cubes par heure).

L'eau qui refroidit les compresseurs d'air sert ensuite à l'alimentation des générateurs.

Après neuf heures du soir, les deux pompes Audemar s'arrêtent avec le moteur du service pneumatique, et comme les machines d'éclairage fonctionnent jusqu'à minuit, un pulsomètre Kœrting d'un débit de 6 mètres cubes par heure élève l'eau nécessaire.

4° *Éclairage électrique.*

On s'est préoccupé de la faculté d'emprunter le courant d'éclairage à une source extérieure, et le voltage a été choisi pour cette raison à 110 volts. L'emploi du gaz était complètement rejeté, mais le cahier des charges imposait un moteur spécial pour obtenir un éclairage régulier et prévoyait un groupe de rechange (moteur et dynamo), et un circuit de secours avec quelques lampes pour parer à une extinction totale.

La maison Sautter-Harlé et Cie fut chargée, après concours, d'installer deux groupes électrogènes du type

spécialement étudié pour la marine et déjà en usage au Poste central de Paris.

La dynamo bipolaire, à anneau Gramme et à excitation compound, peut donner 220 ampères à 110 volts avec une vitesse de 350 tours par minute. Son arbre est directement solidaire de l'arbre du moteur.

Ce moteur est lui-même à deux cylindres du type pilon avec détente Meyer. Un régulateur très sensible à force centrifuge, agit sur la valve d'introduction. Son action est modérée par un ressort qui se manœuvre à la main, et sur lequel agit le mécanicien pour varier la vitesse du moteur suivant le débit de la dynamo. Pour de plus grands écarts de vitesse, le mécanicien peut agir sur les tuiles de détente du tiroir Meyer.

La course des pistons est de $0^{m},170$, le diamètre du petit cylindre, de $0^{m},206$ et celui du grand cylindre, de $0^{m},310$. La pression à l'admission est de 6 ou 7 kilogrammes suivant la marche à condensation ou avec échappement libre.

Les deux groupes sont assis sur un massif unique en béton de ciment qui est consolidé par des fers entre-croisés et qui repose sur le sol par l'intermédiaire d'un lit de briques en liège. Cette disposition, qui est très efficace, a pour but d'empêcher la transmission à l'édifice des vibrations produites par les moteurs pilon à grande vitesse.

Le condenseur est un organe distinct construit par la maison Weyher et Richemond et dont le mouvement est indépendant de celui du moteur.

En pleine charge pendant les essais, les moteurs ont consommé par cheval-heure électrique produit $16^{kg},1$ de vapeur, à échappement libre, et $13^{kg},8$ dans la marche à condensation, y compris la consommation

du condenseur. L'admission était de 53 p. 100 et de 33 p. 100 dans l'un et l'autre cas.

L'éclairage actuel comprend 130 lampes à incandescence de 16 bougies ($0^A,5$), et 22 lampes à arc de 8 et 13 ampères ; ces dernières sont associées deux à deux, et forment 11 circuits, les lampes à incandescence sont groupés sur trois circuits dont deux principaux et un de secours.

La distribution s'effectue sur un tableau de la manière suivante :

Les pôles positifs des deux dynamos et des accumulateurs sont reliés par des ampèremètres à trois barres distinctes, les pôles négatifs à une barre commune.

Les trois barres positives communiquent avec des commutateurs à trois directions en nombre égal à celui des circuits, chacun des circuits est ensuite rattaché par l'intermédiaire de plombs de sûreté à la barre négative et à un commutateur. Sur les circuits d'arcs il y a en outre une résistance pour régler l'intensité au débit convenable ; un ampèremètre spécial gradué de 0 à 20^A peut être aisément introduit sur ces résistances et indiquer le réglage à faire.

Le voltmètre qui est unique est intercalé sur la source convenable au moyen d'un commutateur à trois directions semblable aux précédents. Tous les commutateurs servent en même temps d'interrupteurs pour l'extinction.

Cette extinction, de même que l'allumage, sont progressifs pour amoindrir l'effet des variations de charge sur le moteur.

Les fils conducteurs sont calculés pour recevoir une intensité maxima de 2^A par millimètre carré. Les diamètres courants pour l'incandescence sont de 11/10

sur les circuits de 1 à 4 lampes et de 20/10 sur les groupes de 5 à 12 lampes; les circuits d'arc ont des sections de 7 et 8 millimètres carrés pour des intensités de 13^A.

Les canalisations suivent les plafonds sous moulures : ces moulures sont peintes intérieurement et isolées des murs par des taquets afin de les préserver de l'humidité. Au sous-sol, l'humidité étant plus à redouter, les conducteurs, bien que recouverts, sont tendus sur des poulies en porcelaine.

La lampe à arc dite lampe à frein est construite par la maison Sautter-Harlé. Les deux porte-crayons ont leur mouvement rendu solidaire par une cordelette de soie qui repose dans la gorge d'une poulie mobile, et tendent à se rapprocher sous le poids plus fort du porte-crayon supérieur. Le frein, qui est un levier dont une extrémité agit sur le rebord intérieur de la poulie à gorge, contrarie ce mouvement ou le modère suivant le poids variable qui agit sur son autre extrémité. Le poids variable est le noyau d'un électro-aimant monté en dérivation sur les porte-crayons; c'est lui qui, au repos, a une action prépondérante par l'intermédiaire du frein sur la poulie à gorge et tend à écarter les crayons, mais il est de plus en plus soulagé par l'attraction magnétique à mesure que l'intensité du courant augmente dans l'électro-aimant, c'est-à-dire lorsque l'écart des crayons s'accroît par l'usure. Le porte-crayon supérieur reprend alors son action sur la poulie à gorge, commence à rapprocher les crayons et détermine contre un arrêt fixe la butée du berceau qui porte le frein, puis le desserrage de celui-ci. Les crayons continuent leur rapprochement, mais alors l'intensité du courant décroît dans l'électro-aimant et

LAMPE A FREIN. — ÉCLAIRAGE PAR DIFFUSION.

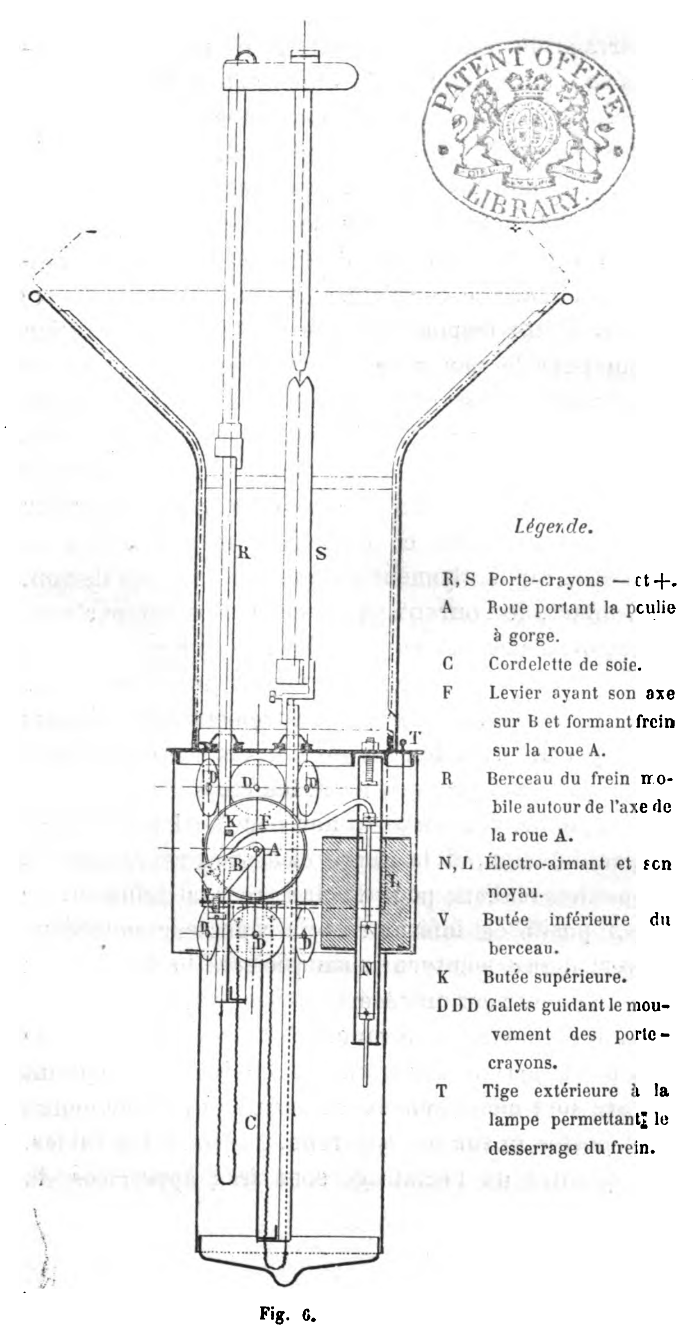


Fig. 6.

le serrage du frein se reproduit. Les mêmes alternatives se renouvellent et déterminent le rapprochement des crayons d'une manière lente et en quelque sorte continue à la vitesse de leur usure. Il convient de remarquer que le berceau porteur du frein dont le mouvement s'opère autour de l'axe de la poulie à gorge, agit par son poids dans le sens des porte-crayons, mais cesse d'agir lors de sa butée contre l'arrêt. Cette disposition crée une sorte de position stable pour le noyau de l'électro-aimant et empêche les oscillations des crayons de se produire sous les petites variations d'intensité de l'électro-aimant.

Lorsqu'au moment de l'allumage, les crayons sont éloignés l'un de l'autre, le courant passe en entier par l'électro-aimant et détermine le desserrage du frein et le rapprochement des crayons. Lorsqu'ils sont au contact, le courant passe intégralement par eux, l'électro-aimant est sans action, le noyau emporte tout le système, et produit l'écart nécessaire pour faire jaillir l'arc. Ce dernier mouvement est d'ailleurs limité par un arrêt dont la position est fixée par l'écart même qu'il faut produire entre les crayons.

L'emploi de ces lampes a lieu pour l'éclairage direct ou par diffusion, et la figure ci-dessus représente la disposition réalisée pour l'éclairage par diffusion. Le crayon positif est inférieur et un réflecteur métallique couvert d'une peinture mate projette la lumière au plafond où elle est diffusée.

Dans ce mode d'éclairage, l'éclat direct qui blesse l'œil est supprimé, les variations de lumière résultant de l'arc sont moins sensibles à la vue, et aucune ombre n'est portée ni sur les appareils, ni sous les tables. Ces qualités de l'éclairage sont très appréciées du

personnel; cependant, il rend nécessaire l'emploi de crayons bien purs à cause de la position défavorable du crayon positif sur lequel retombent les cendres. L'éclairage par diffusion n'existe que dans les salles d'appareils. Chacune des lampes est de 13^A et de 150 carcels; 10 d'entre elles éclairent une superficie de 450 mètres carrés et 4 autres un espace de 200 mètres carrés.

L'éclairage par arc direct avec une intensité de 8^A a lieu dans la salle du public, et au sous-sol dans l'atelier des machines. Comme cet atelier est imparfaitement éclairé au commencement et à la chute du jour ou par les temps sombres, il est indispensable d'y avoir deux ou trois lampes allumées. A ce moment, les accumulateurs d'éclairage sont en charge, et les moteurs Sautter à l'arrêt. Par contre, les dynamos Brown sont en mouvement et il était naturel de leur emprunter l'énergie nécessaire aux deux ou trois lampes à arc dont il est parlé. Aussi les circuits d'arcs du sous-sol ont été amenés séparément au tableau de distribution générale de l'éclairage et reliés à des commutateurs à deux directions permettant ou d'associer les arcs deux à deux (éclairage de nuit à 110 volts) ou de les prendre isolément (éclairage de jour à 58 volts), et la source électrique a été conduite au tableau Sautter par la canalisation disponible qui sert à la décharge des accumulateurs d'éclairage (*). La marche des lampes à frein reste bonne avec une tension de 58 volts et l'ensemble de ces dispositions donne une parfaite satisfaction.

Les frais de premier établissement s'élèvent à

(*) Voir *fig.* 4.

46.000 francs, chiffre correspondant à 2 francs environ par watt nécessaire et à 10 francs par mètre carré à éclairer.

La consommation moyenne semble rester inférieure à 130^{A} pendant le plein éclairage du soir et à 60^{A} de neuf heures à minuit. Le prix de revient calculé sur cette consommation réduite et avec l'emploi des accumulateurs paraît ressortir à $0^{f},06$ l'hecto-watt-heure, amortissement non compris.

5° *Chauffage.*

Le système de chauffage appliqué à l'immeuble a été établi par la maison J. Grouvelle et H. Arquembourg, de Paris.

L'air est chauffé par la vapeur dans une chambre au sous-sol, puis refoulé dans les salles par le moyen d'un ventilateur et des canalisations nécessaires.

Le système réalise donc les avantages du chauffage par la vapeur qui n'expose pas l'air à être en contact avec des surfaces portées au rouge, ni à être accidentellement vicié par les gaz de la combustion ; il évite, en outre, l'encombrement des salles par les poêles de vapeur et les soins indispensables de propreté à leur donner, et il assure une ventilation parfaite.

La batterie de chauffe est constituée par des tuyaux en fer à ailettes d'un diamètre intérieur de $0^{m},40$, d'une longueur de 2 mètres et au nombre de 160. Ces tuyaux sont divisés en trois séries distinctes, susceptibles de recevoir la vapeur simultanément ou séparément, suivant l'intensité à donner au chauffage. Chaque série comprend elle-même deux parties séparées par un diaphragme ouvert d'un trou de quelques millimètres,

qui forme obstacle au passage de la vapeur et contraint celle-ci à demeurer dans la première partie et à ne passer qu'à l'état d'eau condensée dans la seconde. L'écoulement de l'eau condensée provenant des trois séries fait retour par la même canalisation, aux bâches d'alimentation des générateurs : la température de cette eau est 90° environ. La disposition des séries de tuyaux à ailettes sur le passage de l'air à échauffer est faite méthodiquement, c'est-à-dire que l'air froid circule d'abord autour des parties les moins chaudes de la batterie pour sortir vers les points d'introduction de la vapeur. Cette sortie a lieu d'ailleurs vers un sommet de la batterie.

La distribution d'air chaud dans les salles s'opère sous la poussée du ventilateur à travers une gaine principale qui court, au sous-sol, dans toute la longueur du bâtiment et de laquelle se détachent les branchements verticaux qui débouchent dans les salles.

La gaine principale est formée de briques calorifuges en vieux papiers et enduite au plâtre intérieurement et extérieurement ; les branchements verticaux sont constitués par des tuyaux en tôle galvanisée qui sont enveloppés de sciure de bois et des mêmes briques calorifuges.

Le ventilateur est placé entre la prise d'air et la chambre de chauffe. Il aspire donc l'air au dehors et le refoule sur la batterie et, de là, dans les canalisations. Il peut débiter 10.000 mètres cubes d'air par heure, en tournant à la vitesse de 600 tours par minute. Cette capacité est celle de l'immeuble à chauffer, en sorte que l'air des salles peut être renouvelé en une heure.

L'introduction de cette énorme quantité d'air oblige

à le débarrasser de ses poussières, et le résultat est obtenu en produisant l'aspiration à travers un filtre en flanelle sur lequel les poussières se déposent.

L'efficacité de ce filtre est accusée par la couche noirâtre qui le recouvre et qu'il faut secouer chaque semaine.

Le ventilateur est actionné par un petit moteur spécial d'une force de 4 à 6 chevaux-vapeur. Ce moteur, qui est du type pilon, présente cette particularité qu'il fonctionne sans graissage du cylindre ni du tiroir et que sa vapeur d'échappement peut être envoyée dans la batterie de chauffe et recueillie ensuite dans la bâche d'alimentation des générateurs de vapeur.

La modération du chauffage déjà obtenue par le sectionnement de la batterie, peut encore être réalisée en variant la détente de la vapeur d'admission de 3 kilogrammes à $0^{kg},1$ au moyen d'un détendeur spécial. Cet organe est commandé par un autre appareil dit servo-régulateur où la pression de la vapeur s'exerce sur une masse d'eau qui la transmet par un tube très fin au détendeur. La variation de pression dans le servo-régulateur est obtenue par le jeu combiné d'une soupape d'introduction et d'orifices d'écoulement. Cet appareil est très sensible et d'un fonctionnement régulier.

Pour renseigner le chauffeur sur la température des salles, un thermomètre à contacts électriques est placé vers le centre du bâtiment, et si l'organe a été réglé pour une température de 18° il indique si cette température est conforme, inférieure ou supérieure à ce chiffre.

Le système a donné une excellente chaleur pendant l'hiver dernier où sa consommation moyenne a été d'environ 150 kilogrammes de vapeur à l'heure. Il

se prête facilement soit à l'arrêt soit à la mise en train ce qui est précieux dans les périodes les moins rigoureuses de l'hiver.

Pendant l'été on peut donner de l'air frais en ayant soin de produire l'échappement du moteur hors de la batterie.

6° *Production de vapeur.*

Elle est assurée par trois générateurs multitubulaires Belleville dont le timbre est de 15 kilogrammes et la capacité un peu inférieure à 1.000 litres, de manière à rentrer dans la deuxième catégorie du règlement de 1880. Chacun d'eux peut donner 1.000 kilogrammes de vapeur par heure. Un seul suffit au service courant, un deuxième a été prévu pour le chauffage, le dernier sert de rechange commun.

Pour réduire les dépôts calcaires dans les générateurs, l'eau d'alimentation est préalablement épurée dans un appareil du système Desrumeaux.

Le principe de cet appareil, comme de beaucoup d'autres épurateurs, est d'additionner l'eau d'alimentation d'une quantité convenable d'un lait de chaux mêlé d'un peu de soude qui transforme les sels solubles en sels insolubles, et de la séparer de ces sels en la contraignant à remonter doucement à la partie supérieure de l'appareil où elle traverse un filtre en copeaux de bois pour être ensuite conduite aux bâches d'alimentation.

Lorsque la pompe alimentaire refoule l'eau dans le générateur, celle-ci est mise, dans un organe appelé aussi épurateur, immédiatement en contact avec la vapeur produite à 180° qui détermine la précipitation

des dernières boues, et dont elle se sépare avant d'arriver dans les tubes soumis à l'action directe du feu.

La vapeur sort du générateur à une pression de 12 kilogrammes environ, correspondant à la température indiquée de 180°, pour être détendue aussitôt à 9 kilogrammes. Le détendeur opère ainsi une retenue de vapeur en même temps qu'il produit son assèchement. La distribution de vapeur aux appareils de consommation s'effectue par une canalisation fermée sur elle-même et munie des vannes nécessaires pour alimenter suivant deux voies distinctes les diverses machines et pour parer ainsi à une interruption de service en cas d'avarie sur un point de la canalisation. Cette canalisation peut s'allonger sous la chaleur et elle reçoit une pente opposée au générateur pour écouler l'eau condensée à sa surface. Le revêtement qui la préserve du refroidissement est du liège Bourdon.

Le conduit de fumée est formé d'une partie horizontale et d'une partie verticale ayant chacune 35 mètres de longueur. La partie horizontale a une section de $0^{m^2},90$ et elle est défendue contre l'humidité par un revêtement extérieur en ciment séparé lui-même par du sable de la gaine intérieure en briques. La partie verticale est commune à l'État et à l'administration des hospices; sa section est de $1^{m^2},20$, divisée à sa partie inférieure seulement sur une hauteur de 3 mètres pour empêcher les fumées de se contrarier à leur entrée dans la partie verticale.

La dépression obtenue dans la boite à fumée des générateurs lors des essais de ceux-ci a été de $0^m,01$ d'eau.

L'échappement de vapeur a lieu à l'air libre au moyen d'une canalisation de $0^m,140$, en fonte pour la

partie horizontale, en fer pour la partie verticale, qui est placée dans toute la longueur du conduit de fumée, et se purge de l'eau de condensation qu'elle peut contenir par sa partie basse située dans le sous-sol.

Ces dispositions du conduit de fumée et de l'échappement de vapeur ont été imposées par l'administration des hospices. Il en a été de même de celles qui concernent les assises des machines motrices. Le bâtiment avait en effet été disposé pour résister aux poussées d'eau du Rhône, pendant les crues, au moyen de voûtes renversées étanches et il était interdit d'entamer le sol. La solution admise a été de créer une surélévation uniforme de $0^{m},30$ de hauteur en béton de ciment sur toute la superficie occupée par les machines et les générateurs. Cette surélévation ayant à porter les assises des machines motrices assure la répartition des charges sur la plus grande surface possible et préserve de la rupture le sol primitif. Elle a permis en outre de disposer dans son épaisseur les caniveaux d'écoulement à l'égout. Tous les écoulements sont d'ailleurs munis de vannes qui doivent être fermées en cas de crues.

Lyon, le 27 juillet 1894.

MAUREAU.



LA LUMIÈRE ET L'ÉLECTRICITÉ

D'APRÈS MAXWELL ET HERTZ (*)

Au moment où les expériences de Fresnel forçaient tous les savants à admettre que la lumière est due aux vibrations d'un fluide très subtil, remplissant les espaces interplanétaires, les travaux d'Ampère faisaient connaître les lois des actions mutuelles des courants et fondaient l'Électrodynamique.

On n'avait qu'un pas à faire pour supposer que ce même fluide, l'éther, qui est la cause des phénomènes lumineux, est en même temps le véhicule des actions électriques; ce pas, l'imagination d'Ampère le fit; mais l'illustre physicien, en énonçant cette séduisante hypothèse, ne prévoyait sans doute pas qu'elle dût si vite prendre une forme plus précise et recevoir un commencement de confirmation.

Ce ne fut là pourtant qu'un rêve sans consistance jusqu'au jour où les mesures électriques mirent en évidence un fait inattendu; voici ce fait qui a été rappelé par M. Cornu dans le dernier *Annuaire*, à la fin de la lumineuse Notice que ce savant a consacrée à la définition des unités électriques. Pour passer du système d'unités électrostatiques au système d'unités électrodynamiques, on se sert d'un certain *facteur de trans-*

(*) *Annuaire du Bureau des longitudes pour* 1894.

formation dont je ne rappellerai pas la définition, puisqu'on la trouve dans la Notice de M. Cornu. Ce facteur, que l'on appelle aussi le *rapport des unités*, *est précisément égal à la vitesse de la lumière*.

Les observations devinrent bientôt assez précises pour qu'on ne pût songer à attribuer cette concordance au hasard. On ne pouvait donc douter qu'il n'y eût certains rapports intimes entre les phénomènes optiques et les phénomènes électriques. Mais la nature de ces rapports nous échapperait peut-être encore si le génie de Maxwell ne l'avait devinée.

COURANTS DE DÉPLACEMENT.

Tout le monde sait que l'on peut répartir les corps en deux classes, les conducteurs où nous constatons des déplacements de l'électricité, c'est-à-dire des courants voltaïques, et les isolants ou diélectriques. Pour les anciens électriciens, les diélectriques étaient purement inertes et leur rôle se bornait à s'opposer au passage de l'électricité. S'il en était ainsi, on pourrait remplacer un isolant quelconque par un isolant différent sans rien changer aux phénomènes. Les expériences de Faraday ont montré qu'il n'en est rien : deux condensateurs de même forme et de mêmes dimensions, mis en communication avec les mêmes sources d'électricité, ne prendront pas la même charge, bien que l'épaisseur de la lame isolante soit la même, si la *nature* de la matière isolante diffère. Maxwell avait fait une étude trop profonde des travaux de Faraday pour ne pas comprendre l'importance des diélectriques et la nécessité de leur restituer leur véritable rôle.

D'ailleurs, s'il est vrai que la lumière ne soit qu'un

phénomène électrique, il faut bien, quand elle se propage à travers un corps isolant, que ce corps soit le siège de ce phénomène; il doit donc y avoir des phénomènes électriques localisés dans les diélectriques; mais quelle en peut être la nature? Maxwell répond hardiment : ce sont des courants.

Toute l'expérience de son temps semblait le contredire; on n'avait jamais observé de courant que dans les conducteurs. Comment Maxwell pouvait-il concilier son audacieuse hypothèse avec un fait si bien constaté? Pourquoi, dans certaines circonstances, ces courants hypothétiques produisent-ils des effets manifestes et sont-ils absolument inobservables dans les conditions ordinaires?

C'est que les diélectriques opposent au passage de l'électricité, non pas une résistance plus grande que les conducteurs, mais une résistance d'une autre nature. Une comparaison fera mieux comprendre la pensée de Maxwell.

Si l'on s'efforce de tendre un ressort, on rencontre une résistance qui va en croissant à mesure que le ressort se bande. Si donc on ne dispose que d'une force limitée, il arrivera un moment où, cette résistance ne pouvant plus être surmontée, le mouvement s'arrêtera et l'équilibre s'établira; enfin, quand la force cessera d'agir, le ressort restituera en se débandant tout le travail qu'on aura dépensé pour le bander.

Supposons au contraire qu'on veuille déplacer un corps plongé dans l'eau; ici encore on éprouvera une résistance, qui dépendra de la vitesse, mais qui cependant, si cette vitesse demeure constante, n'ira pas en croissant à mesure que le corps s'avancera; le mouvement pourra donc se prolonger tant que la force mo-

trice agira et l'on n'atteindra jamais l'équilibre; enfin, quand la force disparaîtra, le corps ne tendra pas à revenir en arrière et le travail dépensé pour le faire avancer ne pourra être restitué; il aura tout entier été transformé en chaleur par la viscosité de l'eau.

Le contraste est manifeste, et il est nécessaire de distinguer la résistance *élastique* de la résistance *visqueuse*. Alors les diélectriques se comporteraient pour les mouvements de l'électricité comme les solides élastiques pour les mouvements matériels, tandis que les conducteurs se comporteraient comme les liquides visqueux. De là, deux catégories de courants : les courants de *déplacement* ou de Maxwell qui traversent les diélectriques et les courants ordinaires de *conduction* qui circulent dans les conducteurs.

Les premiers, ayant à surmonter une sorte de résistance *élastique*, ne pourraient être que de courte durée; car, cette résistance croissant sans cesse, l'équilibre serait promptement établi.

Les courants de conduction, au contraire, devraient vaincre une sorte de résistance visqueuse, et pourraient par conséquent se prolonger aussi longtemps que la force électromotrice qui leur donne naissance.

Reprenons la comparaison si commode que M. Cornu a empruntée à l'Hydraulique. Supposons que nous ayons dans un réservoir de l'eau sous pression; mettons ce réservoir en communication avec un tuyau vertical : l'eau va y monter; mais le mouvement s'arrêtera dès que l'équilibre hydrostatique sera atteint. Si le tuyau est large, il n'y aura pas de frottement ni de perte de charge, et l'eau ainsi élevée pourra être employée pour produire du travail. Nous avons là l'image du courant de déplacement.

Si au contraire l'eau du réservoir s'écoule par un tuyau horizontal, le mouvement continuera tant que le réservoir ne sera pas vide; mais, si le tuyau est étroit, il y aura une perte de travail considérable et une production de chaleur par le frottement; nous avons là l'image du courant de conduction.

Bien qu'il soit impossible et quelque peu oiseux de chercher à se représenter tous les détails du mécanisme, on peut dire que tout se passe comme si les courants de déplacement avaient pour effet de bander une multitude de petits ressorts. Quand ces courants cessent, l'équilibre électrostatique est établi et ces ressorts sont d'autant plus tendus que le champ électrique est plus intense. Le travail accumulé dans ces ressorts, c'est-à-dire l'énergie électrostatique, peut être restitué intégralement dès qu'ils peuvent se débander; c'est ainsi qu'on obtiendra du travail mécanique quand on laissera les conducteurs obéir aux *attractions électrostatiques*. Ces attractions seraient dues ainsi à la pression exercée sur les conducteurs par les ressorts bandés. Enfin, pour poursuivre la comparaison jusqu'au bout, il faudrait rapprocher la décharge disruptive de la rupture de quelques ressorts trop tendus.

Au contraire, le travail employé à produire des courants de conduction est perdu et tout entier transformé en chaleur, comme celui que l'on dépense pour vaincre les frottements ou la viscosité des fluides. *C'est pour cela que les fils conducteurs s'échauffent.*

Dans la manière de voir de Maxwell, *il n'y a que des courants fermés*. Pour les anciens électriciens, il n'en était pas de même; ils regardaient comme fermé le courant qui circule dans un fil joignant les deux

pôles d'une pile. Mais si, au lieu de réunir directement les deux pôles, on les met respectivement en communication avec les deux armatures d'un condensateur, le courant instantané qui dure jusqu'à ce que le condensateur soit chargé était considéré comme ouvert; il allait, pensait-on, d'une armature à l'autre à travers le fil de communication et la pile, et s'arrêtait à la surface de ces deux armatures. Maxwell, au contraire, suppose que le courant traverse, sous forme de courant de déplacement, la lame isolante qui sépare les deux armatures et qu'il se ferme ainsi complètement. La résistance élastique qu'il rencontre dans ce passage explique sa faible durée.

Les courants peuvent se manifester de trois manières : par leurs effets calorifiques, par leur action sur les aimants et les courants, par les courants induits auxquels ils donnent naissance. Nous avons vu plus haut pourquoi les courants de conduction développent de la chaleur et pourquoi les courants de déplacement n'en font pas naître. En revanche, d'après l'hypothèse de Maxwell, les courants qu'il imagine doivent, comme les courants ordinaires, produire des effets électromagnétiques, électrodynamiques et inductifs.

Pourquoi ces effets n'ont-ils encore pu être mis en évidence? C'est parce qu'un courant de déplacement quelque peu intense ne peut durer longtemps, *dans le même sens;* car la tension de nos ressorts, sans cesse croissante, l'arrêterait bientôt. Il ne peut donc y avoir dans les diélectriques, ni courant continu de longue durée, ni courant alternatif sensible de longue période. Les effets deviendront au contraire observables si l'alternance est très rapide.

NATURE DE LA LUMIÈRE.

C'est là, d'après Maxwell, l'origine de la lumière; une onde lumineuse est une suite de courants alternatifs qui se produisent dans les diélectriques et même dans l'air ou le vide interplanétaire et qui changent de sens un quatrillion de fois par seconde. L'induction énorme due à ces alternances fréquentes produit d'autres courants dans les parties voisines des diélectriques, et c'est ainsi que les ondes lumineuses se propagent de proche en proche. Le calcul montre que la vitesse de propagation est égale au *rapport des unités*, c'est-à-dire à la vitesse de la lumière.

Ces courants alternatifs sont des espèces de vibrations électriques; mais ces vibrations sont-elles longitudinales comme celles du son, ou transversales comme celles de l'éther de Fresnel? Dans le cas du son, l'air subit des condensations et des raréfactions alternatives. Au contraire, l'éther de Fresnel se comporte dans ses vibrations comme s'il était formé de couches incompressibles susceptibles seulement de glisser l'une sur l'autre. S'il y avait des courants *ouverts*, l'électricité se portant d'un bout à l'autre d'un de ces courants s'accumulerait à l'une des extrémités; elle se condenserait ou se raréfierait comme l'air, ses vibrations seraient longitudinales. Mais Maxwell n'admet que des courants fermés; cette accumulation est impossible et l'électricité se comporte comme l'éther incompressible de Fresnel; ses vibrations sont transversales.

VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE.

Ainsi nous retrouvons tous les résultats de la théorie des ondes. Ce n'était pas assez pourtant pour que les physiciens, séduits plutôt que convaincus, se décidassent à adopter les idées de Maxwell ; tout ce qu'on pouvait dire en leur faveur, c'est qu'elles n'étaient en contradiction avec aucun des faits observés, et que c'eût été bien dommage qu'elles ne fussent pas vraies. Mais la confirmation expérimentale manquait : elle devait se faire attendre vingt-cinq ans.

Il fallait trouver, entre la théorie ancienne et celle de Maxwell, une divergence qui ne fût pas trop délicate pour nos grossiers moyens d'investigation. Il n'y en avait qu'une dont on pût tirer un *experimentum crucis*.

L'ancienne Électrodynamique exige que l'induction électromagnétique se produise instantanément ; d'après la doctrine nouvelle, elle doit au contraire se propager avec la vitesse de la lumière.

Il s'agit donc de mesurer ou au moins de constater la vitesse de propagation des effets inductifs ; c'est ce qu'a fait l'illustre physicien allemand Hertz par la méthode des interférences.

Cette méthode est bien connue par ses applications aux phénomènes optiques. Deux rayons lumineux issus de la même source interfèrent quand ils aboutissent au même point après avoir suivi des chemins différents. Si la différence de ces chemins est égale à une longueur d'onde, c'est-à-dire au chemin parcouru pendant une période, ou à un nombre entier de longueurs d'onde,

l'une des vibrations est en retard sur l'autre d'un nombre entier de périodes ; les deux vibrations en sont donc à la même phase, elles sont de même sens et s'ajoutent. Si, au contraire, la différence de marche des deux rayons est égale à un nombre impair de demi-longueurs d'onde, les deux vibrations sont de sens contraire et se retranchent l'une de l'autre.

Les ondes lumineuses ne sont pas seules susceptibles d'interférence; tout phénomène périodique et alternatif se propageant avec une vitesse finie produira des effets analogues. C'est ce qui arrive pour le son, c'est ce qui doit arriver aussi pour l'induction électrodynamique, si la vitesse de propagation en est finie ; si au contraire cette propagation était instantanée, il n'y aurait pas d'interférence.

Mais on ne pourrait mettre ces interférences en évidence si la longueur d'onde était plus grande que les salles des laboratoires, plus grande que l'espace que l'induction peut franchir sans trop s'affaiblir. Il faut donc des courants de période très courte.

EXCITATEURS ÉLECTRIQUES.

Voyons d'abord comment on peut les obtenir à l'aide d'un appareil qui est un véritable *pendule électrique*. Supposons deux conducteurs réunis par un fil : s'ils ne sont pas au même potentiel, l'équilibre électrique est rompu ; de même que l'équilibre mécanique est dérangé, quand un pendule est écarté de la verticale. Dans un cas comme dans l'autre, l'équilibre tend à se rétablir.

Un courant circule dans le fil et tend à égaliser le potentiel des deux conducteurs, de même que le pendule se rapproche de la verticale. Mais le pendule ne

s'arrêtera pas dans sa position d'équilibre; ayant acquis une certaine vitesse, il va, grâce à son inertie, dépasser cette position. De même, quand nos conducteurs seront déchargés, l'équilibre électrique momentanément rétabli ne se maintiendra pas et sera aussitôt détruit par une cause analogue à l'inertie : cette cause c'est la *self-induction*. On sait que quand un courant cesse, il fait naître dans les fils voisins un courant induit de même sens. Le même effet se produit dans le fil même où circulait le courant inducteur qui se trouve ainsi pour ainsi dire continué par le courant induit.

En d'autres termes, un courant persistera après la disparition de la cause qui l'a fait naître, de même qu'un mobile ne s'arrête pas quand la force qui l'avait mis en mouvement cesse d'agir.

Quand les deux potentiels seront devenus égaux, le courant continuera donc dans le même sens et fera prendre aux deux conducteurs des charges opposées à celles qu'ils avaient d'abord.

Dans ce cas comme dans celui du pendule, la position de l'équilibre est dépassée : il faut, pour le rétablir, revenir en arrière.

Quand l'équilibre est atteint de nouveau, la même cause le rompt aussitôt et les oscillations se poursuivent sans cesse.

Le calcul montre que la période dépend de la capacité des conducteurs; il suffit donc de diminuer suffisamment cette capacité, ce qui est facile, pour avoir un *pendule électrique* susceptible de produire des courants d'alternance extrêmement rapide.

Tout cela était bien connu par les théories de Lord Kelvin et par les expériences de Feddersen sur la décharge oscillante de la bouteille de Leyde. Ce n'est

donc pas ce qui constitue l'idée originale de Hertz.

Mais il ne suffit pas de construire un pendule, il faut encore le mettre en mouvement. Pour cela, il faut qu'une cause quelconque l'écarte de sa position d'équilibre, puis qu'elle cesse d'agir brusquement, je veux dire *dans un temps très court par rapport à la durée d'une période ;* sans cela il n'oscillera pas.

Si, avec la main, par exemple, on écarte un pendule de la verticale, puis, qu'au lieu de le lâcher tout à coup, on laisse le bras se détendre lentement sans desserrer les doigts, le pendule, toujours soutenu, arrivera sans vitesse à sa position d'équilibre et ne la dépassera pas.

On conçoit donc que, avec des périodes d'un cent-millionième de seconde, aucun système de déclenchement mécanique ne pourrait fonctionner, quelque rapide qu'il puisse nous paraître par rapport à nos unités de temps habituelles. Voici comment Hertz a résolu le problème.

Reprenons notre pendule électrique, et pratiquons dans le fil qui joint les deux conducteurs une coupure de quelques millimètres. Cette coupure partage notre appareil en deux moitiés symétriques que nous mettrons en communication avec les deux pôles d'une bobine de Ruhmkorff. Le courant induit va charger nos deux conducteurs et la différence de leur potentiel va croître avec une lenteur relative.

D'abord, la coupure empêchera les conducteurs de se décharger; l'air qui s'y trouve joue le rôle d'isolant et maintient notre pendule écarté de sa position d'équilibre.

Mais quant la différence de potentiel sera assez grande, l'étincelle de la bobine éclatera et frayera un

chemin à l'électricité accumulée sur les conducteurs. La coupure cessera tout à coup d'isoler et, par une sorte de déclenchement électrique, notre pendule sera délivré de la cause qui l'empêchait de retourner à l'équilibre. Si des conditions assez complexes, bien étudiées par Hertz, sont remplies, ce déclenchement est assez brusque pour que les oscillations se produisent.

Cet appareil, appelé *excitateur*, produit des courants qui changent de sens de cent millions à un milliard de fois par seconde. Grâce à cette fréquence extrême, ils peuvent produire des effets d'induction à grande distance. Pour mettre ces effets en évidence, on se sert d'un autre pendule électrique nommé *résonateur*. Dans ce nouveau pendule, la coupure du milieu et la bobine qui ne servent qu'au déclenchement sont supprimées ; les deux conducteurs se réduisent à deux très petites sphères et le fil est recourbé en cercle de manière à rapprocher les deux sphères l'une de l'autre.

L'induction due à l'excitateur mettra ce résonateur en vibration, d'autant plus facilement que les périodes seront moins différentes. A certaines phases de la vibration, la différence de potentiel des deux sphères sera assez grande pour que des étincelles jaillissent.

PRODUCTION DES INTERFÉRENCES.

On a ainsi un instrument qui met en évidence les effets de l'onde d'induction partie de l'excitateur. On peut faire cette étude de deux manières : ou bien exposer le résonateur à l'induction directe de l'excitateur à grande distance ; ou bien faire agir cette induc-

tion à petite distance sur un long fil conducteur que l'onde électrique va suivre et qui agira à son tour par induction à petite distance sur le résonateur.

Que l'onde se propage le long d'un fil ou à travers l'air, on peut produire des interférences par réflexion. Dans le premier cas, elle se réfléchira à l'extrémité du fil qu'elle suivra de nouveau en sens inverse ; dans le second, elle pourra se réfléchir sur une feuille métallique qui fera office de miroir. Dans les deux cas, l'onde réfléchie interférera avec l'onde directe et l'on trouvera des positions où l'étincelle du résonateur s'éteindra.

Les expériences faites avec le long fil sont plus faciles, elles nous fournissent beaucoup de renseignements précieux, mais elles ne sauraient servir d'*experimentum crucis*, car, dans l'ancienne théorie comme dans la nouvelle, la vitesse de l'onde électrique le long d'un fil doit être égale à celle de la lumière. Les expériences sur l'induction directe à grande distance sont au contraire décisives. Elles montrent que non seulement la vitesse de propagation de l'induction à travers l'air est finie, mais qu'elle est égale à la vitesse de l'onde propagée le long d'un fil, conformément aux idées de Maxwell.

SYNTHÈSE DE LA LUMIÈRE.

J'insisterai moins sur d'autres expériences de Hertz, plus brillantes, mais moins instructives. Concentrant avec un miroir parabolique l'onde d'induction émanée de l'excitateur, le savant allemand obtient un véritable faisceau de rayons de force électrique, susceptibles de se réfléchir et de se réfracter régulièrement. Les

rayons, si la période, déjà si petite, était un million de fois plus courte encore, ne différeraient pas des rayons lumineux. On sait que le soleil nous envoie plusieurs sortes de radiations, les unes lumineuses parce qu'elles agissent sur la rétine, les autres obscures, ultraviolettes ou infrarouges, qui se manifestent par leurs effets chimiques ou calorifiques. Les premières ne doivent leurs qualités qui nous les font paraître d'une autre nature, qu'à une sorte de hasard physiologique. Pour le physicien, l'infrarouge ne diffère pas plus du rouge que le rouge du vert; la longueur d'onde est seulement plus grande; celle des radiations hertziennes est beaucoup plus grande encore, mais il n'y a là que des différences de degré et l'on peut dire, si les idées de Maxwell sont vraies, que l'illustre professeur de Bonn a réalisé une véritable *synthèse de la lumière.*

CONCLUSIONS.

Il ne faut pas cependant que notre admiration pour tant de succès inespérés nous fasse oublier les progrès qui restent à accomplir. Cherchons donc à nous rendre compte exactement des résultats qui sont définitivement acquis.

D'abord la vitesse de l'induction directe à travers l'air est finie, sans quoi les interférences seraient impossibles. *L'ancienne électrodynamique est donc condamnée.* Que doit-on mettre à la place? Est-ce la doctrine de Maxwell (ou au moins quelque chose d'approchant, car on ne saurait demander à la divination du savant anglais d'avoir prévu la vérité dans tous ses détails)? Bien que les probabilités s'accumulent, la démonstration complète n'est pas encore faite.

Nous pouvons mesurer la longueur d'onde des oscillations hertziennes; cette longueur est le produit de la période par la vitesse de propagation. Nous connaîtrions donc cette vitesse si nous connaissions la période; mais cette dernière est si petite que nous ne pouvons la mesurer : nous pouvons seulement la calculer par une formule due à Lord Kelvin. Ce calcul conduit à des chiffres qui sont d'accord avec la théorie de Maxwell; mais les derniers doutes ne seront dissipés que quand la vitesse de propagation aura été directement mesurée.

Ce n'est pas tout, les choses sont loin d'être aussi simples qu'on pourrait le croire d'après ce court exposé. Diverses circonstances viennent les compliquer.

D'abord il y a autour de l'excitateur un véritable rayonnement d'induction : l'énergie de cet appareil *rayonne* donc au dehors et, comme aucune source ne vient l'alimenter, elle ne tarde pas à se dissiper et les oscillations s'éteignent rapidement. C'est là qu'on doit chercher l'explication du phénomène de la *résonance multiple* qui a été découvert par MM. Sarasin et de la Rive et qui avait d'abord paru inconciliable avec la théorie.

D'autre part, on sait que la lumière ne suit pas exactement les lois de l'Optique géométrique, et l'écart, qui produit la *diffraction*, est d'autant plus considérable que la longueur d'onde est plus grande. Avec les grandes longueurs des ondulations hertziennes, ces phénomènes doivent prendre une importance énorme et tout troubler. Sans doute il est heureux, pour le moment du moins, que nos moyens d'observation soient si grossiers, sans quoi la simplicité qui nous a séduits au premier abord, ferait place à un dédale où nous ne

pourrions nous reconnaître. C'est de là probablement que proviennent diverses anomalies que l'on n'a pu expliquer jusqu'ici. C'est aussi pour cette raison que les expériences sur la réfraction des rayons de force électrique n'ont, comme je l'ai dit plus haut, que peu de valeur démonstrative.

Il reste une difficulté qui est plus grave, mais qui n'est sans doute pas insurmontable. D'après Maxwell, le coefficient d'induction électrostatique d'un corps transparent devrait être égal au carré de son indice de réfraction. Il n'en est rien, les corps qui suivent la loi de Maxwell sont des exceptions. On est évidemment en présence de phénomènes beaucoup plus complexes qu'on ne le croyait d'abord; mais on n'a encore pu rien débrouiller et les expériences elles-mêmes sont contradictoires.

Il reste donc beaucoup à faire; l'identité de la lumière et de l'électricité est dès aujourd'hui autre chose qu'une hypothèse séduisante : c'est une vérité probable, mais ce n'est pas encore une vérité démontrée.

NOTE I.

Depuis que ces lignes ont été écrites, un grand pas a été fait. M. Blondlot est en effet parvenu, grâce à d'ingénieuses dispositions expérimentales à mesurer *directement* la vitesse d'une perturbation qui se propage le long d'un fil. Le nombre trouvé diffère peu du rapport des unités, c'est-à-dire de la vitesse de la lumière, qui est de 300.000 kilomètres par seconde. Comme les expériences d'interférence faites à Genève

par MM. Sarasin et de la Rive ont montré, ainsi que je l'ai dit plus haut, que l'induction se propage à travers l'air avec la même vitesse qu'une perturbation électrique qui suit un fil conducteur, nous devons conclure que la vitesse de l'induction est la même que celle de la lumière, ce qui est une confirmation des idées de Maxwell.

M. Fizeau avait trouvé autrefois, pour la vitesse de l'électricité, un nombre beaucoup plus faible, 180.000 kilomètres environ. Il n'y a là aucune contradiction; les phénomènes observés étaient en effet très différents. Les courants dont se servait M. Fizeau étaient intermittents, mais de faible fréquence; *ils pénétraient jusqu'à l'axe du fil;* les courants de M. Blondlot, alternatifs et de période très courte, restaient *superficiels* et confinés dans une couche mince de moins d'un centième de millimètre d'épaisseur. On conçoit que les lois de la propagation ne soient pas les mêmes dans les deux cas.

NOTE II.

J'ai cherché plus haut à faire comprendre, par une comparaison, l'explication des attractions électrostatiques et des phénomènes d'induction; voyons maintenant quelle idée se fait Maxwell de la cause qui produit les attractions mutuelles des courants.

Tandis que les attractions électrostatiques seraient dues à la tension d'une multitude de petits ressorts, ou, en d'autres termes, à l'élasticité de l'éther, ce seraient la force vive et l'inertie de ce fluide qui produiraient les phénomènes d'induction et les actions électrodynamiques.

Le calcul complet est beaucoup trop long pour trouver place ici, et je me contenterai encore d'une comparaison. Je l'emprunterai à un appareil bien connu, le régulateur à force centrifuge.

La force vive de cet appareil est proportionnelle au carré de la vitesse angulaire de rotation et au carré de l'écartement des boules.

D'après l'hypothèse de Maxwell, l'éther est en mouvement dès qu'il y a des courants voltaïques, et sa force vive est proportionnelle au carré de l'intensité de ces courants, qui correspond ainsi, dans le parallèle que je cherche à établir, à la vitesse angulaire de rotation.

Si nous considérons deux courants de même sens, cette force vive, à intensité égale, sera d'autant plus grande que les courants seront plus rapprochés ; si les courants sont de sens contraire, elle sera d'autant plus grande qu'ils seront plus éloignés.

Cela posé, poursuivons notre comparaison.

Pour augmenter la vitesse angulaire du régulateur, et par conséquent sa force vive, il faut lui fournir du travail, et surmonter par conséquent une résistance que l'on appelle son *inertie*.

De même, augmenter l'intensité des courants, c'est augmenter la force vive de l'éther; et il faudra pour le faire fournir du travail et surmonter une résistance, qui n'est autre chose que l'inertie de l'éther, et que l'on appelle l'*induction*.

La force vive sera plus grande si les courants sont de même sens et rapprochés; le travail à fournir et la force contre-électromotrice d'induction seront donc plus grands. C'est ce que l'on exprime, dans le langage ordinaire, en disant que l'induction mutuelle des deux

courants s'ajoute à leur self-induction. C'est le contraire si les deux courants sont de sens opposé.

Si l'on écarte les boules du régulateur, il faudra, pour maintenir la vitesse angulaire, fournir du travail, parce que, à vitesse angulaire égale, la force vive est d'autant plus grande que les boules sont plus écartées.

De même, si deux courants sont de même sens et qu'on les rapproche, il faudra, pour maintenir l'intensité, fournir du travail, puisque la force vive augmentera. On aura donc à surmonter une force électromotrice d'induction qui tendrait à diminuer l'intensité des courants. Elle tendrait au contraire à l'augmenter, si les courants étaient de même sens et qu'on les éloignât, ou s'ils étaient de sens contraire et qu'on les rapprochât.

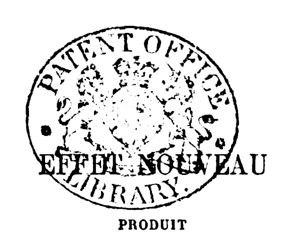
Enfin, la force centrifuge tend à écarter les boules, *ce qui aurait pour effet d'augmenter la force vive si l'on maintient la vitesse angulaire constante*.

De même, quand les courants sont de même sens, ils *s'attirent*, c'est-à-dire qu'ils tendent à se rapprocher, *ce qui aurait pour effet d'augmenter la force vive si l'on maintient l'intensité constante*. S'ils sont de sens contraire, ils se repoussent et tendent à s'éloigner, ce qui aurait encore pour effet d'augmenter la force vive à intensité constante.

Ainsi les phénomènes électrostatiques seraient dus à l'élasticité de l'éther, et les phénomènes électrodynamiques à sa force vive. Maintenant, cette élasticité elle-même devrait-elle s'expliquer, comme le pense lord Kelvin, par des rotations de très petites parties de fluide? Diverses raisons peuvent rendre cette hypothèse séduisante, mais elle ne joue aucun rôle essentiel dans la théorie de Maxwell, qui en est indépendante.

De même, j'ai fait des comparaisons avec divers mécanismes. Mais ce ne sont que des comparaisons, et même assez grossières. Il ne faut pas, en effet, chercher dans le livre de Maxwell une explication mécanique complète des phénomènes électriques, mais seulement l'exposé des conditions auxquelles toute explication doit satisfaire. Et ce qui fait justement que l'œuvre de Maxwell sera probablement durable, c'est qu'elle est indépendante de toute explication particulière.

POINCARÉ.



EFFET NOUVEAU

PRODUIT

PAR LE PASSAGE DE L'ÉLECTRICITÉ

DANS LES LIQUIDES MAUVAIS CONDUCTEURS

Par O. LEHMANN (*)

On sait que, dans l'électrolyse des liquides bons conducteurs, il n'apparaît de modifications qu'au voisinage des électrodes. Si l'on fait abstraction des courants de convection et de l'endosmose électrique, on n'a pas non plus, que je sache, observé de modifications dans la masse parmi les liquides mauvais conducteurs. Contrairement à ces prévisions, j'ai trouvé que le passage de l'électricité à travers diverses solutions peu conductrices, en particulier à travers des matières colorantes dérivées de l'aniline, produisait d'une façon continue et rapide des modifications s'étendant des électrodes vers le milieu et que finalement il se formait un précipité au milieu du liquide ou tout au moins dans l'intervalle entre les électrodes. Il est très facile d'observer ces phénomènes à l'aide du microscope, disposé comme je l'ai indiqué précédemment. (O. Lehmann, *Molecularphysik*, I, p. 834, 1888.)

(*) *Annalen der Physik und Chemie*, **1894. T. LII, p. 455.**

Si, par exemple, on fait passer un courant d'une tension d'environ 70 volts dans une dissolution aqueuse de rouge du Congo, il se forme autour des électrodes une auréole à contours assez nets (d'un beau bleu auprès de l'anode; et, auprès de la cathode, d'une couleur plus pâle que le reste de la solution), dont elle est nettement séparée par une bordure plus sombre (*fig.* 1). Les deux auréoles s'élargissent rapidement pour se rencontrer finalement au milieu. Aussitôt il se produit à cet endroit un précipité de matière colorante bleu foncé du côté de l'anode, tandis que la solution se décolore du côté de la cathode ; ces deux effets n'apparaissent que dans la zone étroite de la rencontre, le reste du liquide demeurant sans changement (*fig.* 2). En même temps, le liquide se met à bouillonner vivement à la surface de contact de la couche bleue sombre et de la couche incolore, tandis que le

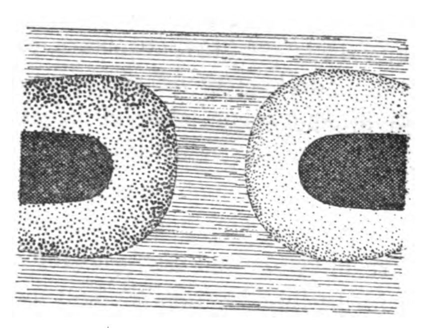


Fig. 1.

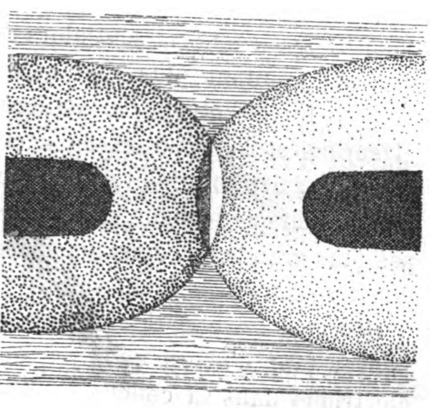


Fig. 2.

reste demeure en repos complet. Pour faire apparaître les plages colorées, la force électromotrice d'un seul accumulateur suffit, mais la vitesse de propagation s'accroît avec la tension. Une tension trop élevée trouble l'observation par les bulles de gaz qui apparaissent en masse aux électrodes. L'expérience est plus commode, si l'on épaissit la solution en ajoutant de la gélatine, du sucre ou de la glycérine. On peut ainsi se convaincre que si les plages gagnent de proche en proche, ce n'est pas l'effet d'un courant de liquide; ainsi, quand même la propagation est très rapide, les poussières et les bulles d'air restent à peu près complètement immobiles. Il ne peut donc être question que d'une modification dans la constitution du liquide, modification qui se propagerait avec rapidité. On peut remarquer, en même temps, que la vitesse de propagation des plages est en raison inverse de la viscosité. Pour observer la marche des plages de proche en proche dans des solutions très visqueuses, il faut augmenter la tension en conséquence. Les contours sont alors denticulés et la division est d'autant plus fine que la tension est plus élevée. En dissolvant la matière colorante dans la glycérine et la saturant de sucre à chaud, on peut constituer des solutions si visqueuses que, même avec 10.000 volts de tension, la vitesse de propagation n'est pas plus grande que dans une dissolution aqueuse avec une tension de quelques volts.

Quant à l'explication du phénomène, on pourrait penser tout d'abord qu'il y a une sorte d'endosmose électrique dans la couche capillaire, entre le porte-objet et le verre lenticulaire du microscope. Mais cette opinion est en contradiction avec le fait qu'on ne voit

pas le liquide se mouvoir, mais simplement la couleur changer d'aspect de proche en proche. On peut aussi se convaincre aisément qu'il y a progression, même en l'absence des parois, en plongeant, comme pour la démonstration ordinaire de l'électrolyse, deux électrodes en fil de platine dans une grande auge en verre remplie de la solution.

Si l'eau sert de dissolvant, naturellement la régularité de la propagation est détruite par les filets liquides dus à l'échauffement de la solution par le courant électrique, mais on peut empêcher ces mouvements en ajoutant assez de gélatine pour que la solution prenne corps en une gelée semi-fluide. On peut aussi observer, sans verre grossissant et pour une distance des électrodes aussi grande qu'on veut, la marche des plages et la formation du précipité à leur rencontre, dans un morceau de gélatine colorée tout à fait libre, sans récipient qui le contienne. Dans une gelée très peu consistante et avec 90 millimètres de distance entre les électrodes, par exemple, les plages se sont rencontrées vers le milieu de l'intervalle au bout de dix minutes après l'établissement du courant. A l'endroit où elles vinrent au contact, il se forma bientôt un précipité, en même temps qu'une vive agitation se manifestait dans la masse; finalement le précipité se redissolvait et le fort dégagement de chaleur, en cet endroit, y reliquéfiait la gélatine. En introduisant un thermomètre pour mesurer la température, on ne trouva que 24° entre les électodes et dans l'ensemble de la masse, mais il y avait jusqu'à 32° juste au milieu, c'est-à-dire dans la zone étroite de rencontre entre les plages. C'est ce qui explique que la masse se soit mise à fondre en ce point.

La vive agitation, ainsi que l'élévation surprenante de température dans le milieu, nous font connaître que la plus grande partie du travail du courant est dépensée en ce point et qu'il doit y avoir là une chute de potentiel relativement grande.

L'explication des phénomènes peut être basée sur les changements de couleur; ils nous démontrent que ce sont les produits de décomposition qui apparaissent aux électrodes (en particulier l'oxygène et l'hydrogène) qui déterminent la formation des auréoles. La marche des bords permet de conclure que les produits de décomposition se diffusent avec une rapidité assez grande dans la direction des lignes de flux, et la présence de la forte chute de potentiel à la limite de la plage prouve que les particules diffusées emportent de grosses charges électriques, de même signe que celles des électrodes d'où elles proviennent. Ainsi donc, on peut concevoir comme suit la nature du phénomène: les molécules des produits de décomposition, libérées auprès des électrodes, se chargent par contact avec elles d'électricité de même nom; elles se déplacent le long des lignes de flux correspondant à la chute de potentiel qui existe dans le liquide, jusqu'à ce qu'elles rencontrent des molécules avec lesquelles elles se combinent chimiquement. De nouvelles molécules des produits de décomposition se pressent à leur suite et parviennent à une plus grande distance des électrodes, jusqu'au point où elles peuvent aussi se combiner chimiquement. La solution se modifie ainsi chimiquement dans le voisinage des électrodes jusqu'à des distances de plus en plus grandes; des couleurs nouvelles apparaissent, il se produit des plages qui gagnent d'étendue. Leurs bords viennent à se rencontrer et il

se produit les mêmes phénomènes que si les électrodes étaient amenées au voisinage immédiat l'une de l'autre, c'est-à-dire que la neutralisation des charges électriques se produit par voie de convection avec tourbillonnement dans le liquide.

L'observation de la nature des courants de matière semble en effet confirmer cette manière de voir. La *fig.* 3 en montre le mécanisme, avant que les courants ne soient troublés par la formation du précipité. Chacune des deux surfaces électriques prend une forme ondulée, les crêtes des ondulations s'amincissent de plus en plus et envoient des filets de liquides dans les concamérations de la surface opposée qui leur font vis-à-vis. D'une part, il se produit ainsi une neutralisation des modifications chimiques des deux parties du liquide et une reconstitution de la matière colorante originaire avec dégagement de chaleur; d'autre part, les particules électrisées de matière colorante se séparent de la dissolution qui est électrisée de signe contraire, de sorte que les particules de matière colorante s'accumulent en précipité du côté de l'anode, tandis que le dissolvant incolore occupe l'autre moitié de la zone de mélange.

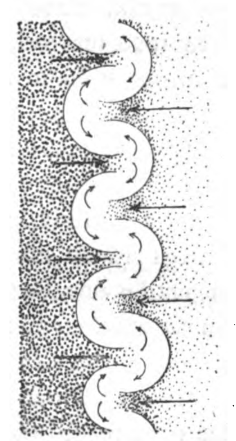


Fig. 3.

Si nous avons parlé ci-dessus exclusivement de la solution de rouge du Congo, il ne faut pas en conclure qu'elle est seule à montrer le phénomène. L'essai d'un grand nombre d'autres solutions a donné des résultats concordants, parfois avec des particularités très inté-

ressantes. En particulier, les solutions aqueuses additionnées de gélatine, indiquées ci-après, avec le nom des couleurs des plages entre parenthèses, ont donné de très beaux résultats : bleu marine (bleu, violet) — safranine (rouge, violet) — chrysoïdine (jaune tirant sur le rouge, jaune foncé) — tropéoline (violet, jaune tirant sur le rouge) — rouge de Bordeaux (rouge brique, bleu) — éosine (jaune, rouge tirant sur le bleu) — vert malachite (incolore, vert tirant sur le bleu). Dans tous les cas, les expériences réussissent aussi si on opère en grand.

En faisant passer dans de la gélatine, colorée avec du vert malachite et répandue sur une plaque de verre en une couche de quelques millimètres d'épaisseur, un courant de 70 volts de tension par deux points écartés de 90 millimètres l'un de l'autre, il se forma autour des deux électrodes un gonflement de la gélatine, qui s'étendit en même temps que les auréoles gagnaient au sein de la masse, et ces deux bourrelets se rejoignirent à 55 millimètres de l'anode au bout d'une demi-heure. Le contour du monticule entourant l'anode était complètement rond, sa couleur était d'un vert tirant sur le bleu ; le gonflement autour de l'électrode négative était incolore, il présentait des filets rayonnants, rappelant la forme d'une figure positive de Lichtenberg. A la rencontre des deux boursouflures, il se produisit aussitôt un précipité vert foncé du côté de la cathode et une zone mince incolore du côté de l'anode. La gélatine remonta sur le précipité vert foncé, comme si elle était fortement attirée vers la cathode, la zone incolore au contraire se creusa de plus en plus et bientôt disparut complètement, en mettant le verre à nu, et le courant fut interrompu.

Ces phénomènes de dilatation de la gélatine sont à coup sûr en rapport intime avec les changements chimiques du liquide; ils se montrent également avec d'autres matières colorantes. Ils font penser à ces recherches de du Bois Raymond sur le blanc d'œuf coagulé, qui jusqu'à ce jour n'ont pas encore été éclaircies.

Les essais ont porté avec des succès divers sur d'autres substances encore. La solution sucrée de méthyl violet se prête bien à l'étude des tourbillons qui se forment à la rencontre des plages. Pour épaissir le liquide, on a employé aussi avec succès à la place de la gélatine, du sucre et de la glycérine, la gomme arabique, la dextrine, le sucre d'orge, l'inuline, l'émulsine et la colle forte.

On peut prendre d'autres dissolvants que l'eau. Ainsi, les expériences réussissent bien avec la glycérine pour le rouge du Congo, avec l'alcool propylique pour le bleu de méthylène, avec la quinoléine pour le bleu de phényle (jaune violet), et avec l'anyline additionnée d'alcool pour le bleu de méthylène. Il est difficile de constater les phénomènes dans les solutions incolores, puisque la progression des plages se manifeste par le changement de coloration et non par la formation de filets liquides. Dans les dissolutions où l'on répand des poussières, on observe souvent que lorsque le bord d'une plage atteint une de ces particules, celle-ci recule comme si elle était attirée par la plage qui s'approche d'elle; elle reste ensuite au repos. C'est en observant ces mouvements avec du noir de fumée ou de l'inuline que j'ai pu reconnaître dans une solution aqueuse d'amygdaline la propagation des plages et la production des tourbillons qui a lieu à leur rencontre.

Si on remplit un liquide d'un grand nombre de particules très fines, on peut observer la marche des plages par les variations de la densité de leur répartition, aussi bien que si on employait des matières colorantes. L'encre de Chine liquide de E. Wolff et Son, qu'on peut avoir dans le commerce, se prête très bien à l'expérience. On l'étend fortement d'eau et on l'épaissit par addition de sucre ou de glycérine. Cette (pseudo-) dissolution est extrêmement sensible à l'addition de toute substance étrangère. Il suffit de traces de sels, de matières colorantes, etc., pour occasionner un précipité de charbon sous forme de flocons, d'ordinaire en commun avec le corps qui provoque le dépôt. D'autres substances, au contraire, même très concentrées, n'ont aucune influence sur la répartition des particules. Il est à présumer que c'est cette propriété de l'encre de Chine liquide, qui la rend apte à déceler les progrès de la marche des plages. Une particularité qui concorde avec ces faits, c'est que les substances visqueuses, tels que le sucre, la glycérine, etc., qui empêchent les dépôts de se former, rendent aussi plus difficiles les dépôts électrolytiques. Avec l'encre de Chine, on peut prendre aussi différentes couleurs en tube que l'on a dans le commerce, comme la gomme-gutte, le carmin, le bleu de Berlin, etc. Cependant, les faits se compliquent à cause de la migration bien connue de ces poudres vers l'un des pôles, de l'agencement des particules suivant la direction des lignes de force et de leur agglomération en petits tas, qui se comportent comme des électrodes secondaires. Ces phénomènes se montrent dans toute leur beauté avec les couleurs pour lavis de la maison Th. Günzberg de Vürzbourg, et particulièrement avec l'encre de Chine, le bleu de Berlin, le jaune de cadmium, la laque de Florence, en disso-

lution acétique. Le cheminement des poudres permet aussi de reconnaître d'une façon élégante, au moyen du microscope, le mode de mouvement du liquide dans la décharge par convection. Nous en ferons l'objet d'une note à la prochaine occasion.



LA FOUDRE GLOBULAIRE

Par M. F. SAUTER, Professeur du Collège royal d'Ulm (Danube). (*).

Un des phénomènes les plus remarquables et les plus intéressants, qu'on puisse observer dans l'atmosphère, c'est à coup sûr l'apparition de la foudre globulaire, c'est-à-dire d'un éclair qui est perçu sous la forme d'une boule de feu.

La différence caractéristique entre les éclairs en boule et ceux en zigzag ou les éclairs diffus, consiste dans leur durée, leur rapidité et leur forme. Tandis que l'éclair en zigzag, à contours nets, en trait mince, de même que l'éclair sans contours déterminés qui couvre de vastes surfaces, ne durent qu'un instant, comme l'on sait, ou ne durent tout au plus qu'un millième de seconde, les éclairs en boule sont visibles souvent pendant 1', 2, 10... secondes, et souvent même pendant plusieurs minutes. Ils se meuvent assez lentement des nuages vers la terre, de sorte que l'œil peut suivre clairement leur marche et en estimer la rapidité. Leur mouvement peut être comparé au vol d'un oiseau, à la course d'un animal ou au roulement d'une boule et presque toujours ils se montrent sous la forme d'une sphère ou d'un œuf. De fortes décharges électriques accompagnent d'ordinaire l'apparition des éclairs en

(*) *Archiv. für Post und Telegraphie*, mai 1894.

boule; on ne parle que rarement d'un éclair en boule isolé et non précédé ni suivi d'autres éclairs, mais les phénomènes atmosphériques concomitants sont toujours orageux. Les autres signes ne sont pas caractéristiques. Les éclairs en boule apparaissent tantôt avant une décharge, tantôt après; parfois ils diparaissent sans laisser de trace, parfois ils font explosion avec un fort coup de tonnerre que l'on compare au bruit d'un coup de pistolet, d'un coup de fusil ou d'un coup de canon; ou bien même on prétend n'avoir jamais entendu un coup de tonnerre aussi terrible. Les éclairs en boule suivent souvent les chéneaux, bien des fois aussi les paratonnerres, et fréquemment, plus fréquemment même, ils renoncent à être ainsi guidés et leur marche errante paraît n'avoir ni loi ni but. On leur attribue des intensités lumineuses diverses et qui parfois ne paraissent pas si considérables; ils apparaissent tantôt avec une flamme rouge comme la mèche d'une bombe, et tantôt ils laissent après eux un sillon lumineux, comme une fusée tirée de nuit. Le volume apparent de la foudre globulaire donne lieu à des estimations diverses : soit en mesures exactes, soit à vue d'œil, le diamètre varie de 11 centimètres à 116. On en compare la grosseur à une balle d'enfant, à une pièce de six pence, à un œuf de poule, à la grosseur du poing, à un petit boulet, à une tête d'enfant, à une tête d'homme, à un ballon, à un boulet de gros calibre, à une bombe, au disque lunaire, au disque du soleil, au volume d'un enfant nouveau né, à un petit tonneau, à un baril et même à une grosse meule. Tantôt les éclairs en boule sont en rotation plus ou moins rapide, tantôt ils lancent autour d'eux de tous côtés des flammes et des étincelles, tantôt ils se divisent en plusieurs petites

boules soit en l'air, soit seulement après avoir touché le sol. En traversant l'atmosphère, ils sont souvent accompagnés d'un fort sifflement, ils répandent fréquemment dans l'atmosphère, au voisinage du sol et surtout dans les maisons, une odeur de soufre qui peut être assez forte pour menacer les gens de mort par asphyxie. Les éclairs en boule se meuvent en ligne droite, courbe ou ondulée; de temps en temps, après s'être abaissés vers la terre, ils remontent dans l'atmosphère sans avoir atteint le sol, ils se meuvent aussi dans une direction inclinée sur la surface du sol en approchant de terre ou bien c'est de terre qu'ils paraissent s'élever. Un des phénomènes les plus remarquables qu'on puisse voir, c'est quand, après avoir touché la terre, il leur arrive de rebondir à plusieurs reprises comme une balle élastique. Les éclairs en boule passent maintes fois, en dépit de leur volume, par des ouvertures très étroites; ils reprennent ensuite leur volume primitif. Ces éclairs pénètrent dans les lieux habités par les portes et fenêtres, par la cheminée, ou en trouant un mur ou un toit, ils parcourent plusieurs chambres, pour éclater, disparaître sans le moindre bruit ou enfin se frayer de nouveau un passage par la cheminée, la fenêtre ou la porte. Dans la campagne, ils disparaissent dans un ruisseau, dans un marais ou dans un gué. Souvent ils sont comme emportés par le vent; dans d'autres cas, ils s'arrêtent un instant à la même place. Leurs effets sur le sol et sur les maisons sont ceux des éclairs ordinaires, cependant ils ont parfois une violence inouïe. Il arrive que la terre est labourée et défoncée par eux, et les objets qu'ils touchent sont percés et perforés, sans que pourtant les corps atteints, maisons,

tours, vaisseaux, etc., aient toujours pris feu. Leurs effets sur les hommes varient : tantôt ils entourent les personnes sans les blesser le moins du monde, tantôt ils leur donnent, sans les toucher et sans faire explosion, un certain nombre de commotions violentes ; parfois ils blessent légèrement et dans bien des cas déjà ils ont causé mort d'homme. Ils ne semblent pas préférer non plus de terrain particulier. On possède une série d'exemples dans les terrains les plus variés et même en pleine mer. Ils ne dépendent pas de la saison. Ils sont plus fréquents en été, parce que c'est le temps des orages ; mais le nombre des cas observés en hiver est relativement grand. Ils arrivent plus fréquemment de jour que de nuit, mais ceux de nuit qui n'entrent pas dans les maisons peuvent échapper aux observations. « Il est vraisemblable, dit H. de Parville (Planté, *Recherches sur l'électricité*), que le phénomène des éclairs en boule est plus fréquent qu'on ne croit ; il a échappé aux observateurs qui ne l'attendaient pas ; ainsi, d'après M. Alluard, directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme, il n'est pas rare en temps d'orage de voir une foule de petites boules de feu sur les flancs de la montagne. »

L'embarras, dans lequel le phénomène de la foudre globulaire mit les météorologues théoriciens sincères, fut d'autant plus grand que la météorologie, dans les dix dernières années, s'était efforcée de satisfaire aux exigences d'une science exacte. Comme il n'y avait ni dans la nature, ni dans les expériences de physique, de phénomènes analogues, qu'on pût faire servir à l'explication de la foudre globulaire, les recherches scientifiques se bornèrent tout d'abord, à examiner la vraisemblance et le fait objectif qu'on relatait. Mais,

comme la véracité d'auteurs tels qu'Arago, Babinet, et Jamin entre autres, était au-dessus de tout soupçon, on pouvait seulement soulever la question de savoir si les observateurs immédiats eux-mêmes, qui n'étaient pas en règle générale des expérimentateurs de profession, n'avaient pas subi des illusions subjectives, c'est-à-dire si les éclairs en boule observés n'étaient pas le résultat d'une illusion d'optique et peut-être tout simplement des images consécutives d'éclairs éblouissants. Ainsi le professeur Dr. W.-G. Hankel, éditeur des œuvres d'Arago, dit, dans une note du tome IV, page 45, qu'à son idée, la foudre globulaire, c'est-à-dire les boules de feu en marche lente, n'existent pas en réalité, mais qu'elles ne sont pas autre chose que des phénomènes lumineux subjectifs, que des éblouissements laissés dans les yeux par l'éclair disparu. Cette manière de voir semble s'être maintenue encore jusqu'à ces derniers temps chez quelques savants; sir William Thomson n'a-t-il pas déclaré, lors de la réunion de 1888 de l'Association britannique à Bath, qu'il tenait pour exagéré et peut-être pour un effet d'illusion d'optique, ce qu'on rapportait des éclairs en boule. A coup sûr, ces doutes seraient légitimes, si les observations n'avaient jamais été faites que par une personne seule. Mais, dans la plupart des cas, les éclairs en boule ont été vus simultanément par plusieurs personnes, et l'on serait amené à un gros problème psychologique, si l'on mettait tout simplement de côté toutes ces relations, sous prétexte d'invraisemblance. « Où irions-nous donc, demande Arago, si nous voulions nier tout ce que nous ne pouvons pas expliquer aisément? » Et, en fait, aussi, le fait des éclairs en boule est admis et enseigné, sur la

foi de nombreuses relations, par la plupart des météorologues, bien qu'ils ne puissent se défendre d'un sentiment d'insécurité et d'embarras, causé par le manque d'explication valable.

Arago a réuni une série d'informations très claires sur la foudre globulaire. Les observateurs y ont ajouté depuis d'autres exemples. Mais, comme on n'avait pas jusqu'à présent de recueil complet d'ensemble comprenant tous les cas connus, l'auteur a entrepris d'en constituer un. Le recueil contient 213 cas décrits de la façon la plus explicite, il est publié par l'auteur comme seconde partie du fascicule programme du Réalgymnasium d'Ulm (1892).

Les tentatives d'explications proposées par divers expérimentateurs, Arago, du Moncel, de Tessan, l'abbé Moigno, Hildebrandsson, le comte Pfeil, Suchsland, s'engagent trop dans le domaine de l'hypothèse pour être approfondies ici. Par contre, le physicien français Gaston Planté, de Paris (mort à Paris le 24 mai 1889), semble avoir réussi à produire expérimentalement des phénomènes qui sont sûrement à considérer comme analogues aux éclairs en boule. Planté a montré par l'expérience que la matière pondérable tend à prendre la forme d'une sphère sous l'influence d'une puissante source dynamique d'électricité. Cette propriété fut d'abord démontrée pour les liquides, où l'on a observé des gouttes lumineuses. En augmentant le voltage, il se produisit dans l'air même, chargé de vapeur d'eau, de vraies boules de feu.

Planté croyait donc pouvoir conclure de ses recherches que les éclairs en boule étaient produits dans la nature par des courants d'électricité, dans lesquels quantité et tension étaient réunies. Dans les orages

violents, dit Planté, lorsqu'il y a en présence dans l'atmosphère de grosses charges électriques, des décharges peuvent se produire, pareilles à celles d'un puissant courant électrique, de sorte que l'éclair apparaît en forme de boule, tandis que l'éclair prend dans les orages moins violents la forme rectiligne ou sinueuse et peut être comparé à l'étincelle d'une machine électrostatique ordinaire.

La nature de la foudre globulaire paraît donc la même que celle des boules de feu qui se produisaient dans les expériences que nous venons de mentionner. Ces boules, d'après Planté, paraissent constituées par de l'air incandescent raréfié et par les gaz que la décomposition de la vapeur d'eau a engendrés, gaz qui se trouvent également à l'état incandescent et raréfié.

L'eau est en effet, comme dans les expériences de Planté, non seulement vaporisée, mais encore décomposée à l'extrémité d'un seul des deux pôles par suite de la température très élevée résultant du courant à haute tension.

Quoiqu'une nappe d'eau ne soit pas absolument indispensable à la production de boules lumineuses électriques, puisqu'il s'en est aussi produit au-dessus d'une surface métallique, néanmoins la présence de l'eau ou de la vapeur d'eau facilite pourtant leur formation, ou tend à leur donner plus de volume, en proportion des gaz produits par la dissociation de l'eau à haute température.

L'air humide paraît aussi favoriser leur apparition et on les a observés souvent soit sur un terrain inondé par une forte averse, soit dans une atmosphère saturée d'humidité.

La couleur des éclairs en boule diffère extrêmement

de celle des éclairs ordinaires et dépend, d'après Planté, du degré hygrométrique de l'atmosphère et des quantités d'électricité en jeu.

S'il y a beaucoup de vapeur d'eau, l'hydrogène prédomine et l'éclair en boule prend la coloration rouge, caractéristique de l'hydrogène raréfié parcouru par un courant intense.

Si, d'autre part, le courant électrique est relativement faible, il y a un degré moindre de raréfaction et de décomposition, et l'éclair en boule prend une coloration d'un bleu violet propre à l'air raréfié.

Les diverses nuances intermédiaires s'expliquent, suivant Planté, par les diverses proportions d'air et de vapeur d'eau contenues dans les gaz raréfiés.

En résumant tous les résultats des expériences ci-dessus mentionnées, Planté conclut ainsi :

La foudre globulaire est une décharge lente, partielle, de l'électricité des nuages orageux, décharge qui se produit directement ou par influence, dès que les quantités d'électricité en jeu deviennent exceptionnellement puissantes et dès que le nuage lui-même ou que la colonne d'air humide fortement électrisé, formant électrode, pour ainsi dire, se trouve très près du sol, de manière à le toucher presque ou à n'en être séparé que par une couche isolante de faible épaisseur.

De cette façon, conclut Planté, peuvent s'expliquer les divers effets de la foudre globulaire. C'était une vraie énigme, tant qu'on n'avait à leur comparer que les effets des appareils d'électricité statique, dans lesquels la quantité d'électricité en jeu est trop faible pour présenter des phénomènes analogues ; mais ils deviennent bien plus faciles à comprendre, dès qu'on les

rattache aux phénomènes produits par une source dynamique d'électricité, alliant la tension à la quantité. Le professeur docteur Léonard Weber, de Breslau, a soumis le travail de Planté à une critique approfondie (*Zeitschr. d. Deutschen met. Ges.*, 1885, page 118), et il estime que les faits exposés ne sont pas suffisants pour expliquer, à l'abri de toute objection, les différents cas des éclairs en boule. Mais en tous cas, les expériences réalisées par Planté, peuvent être regardées comme des phénomènes analogues à ceux de la foudre globulaire, aussi bien d'après leur aspect extérieur que sous le rapport des conditions générales nécessaires à leur production. Une espèce particulièrement intéressante d'éclairs en boule, qui ne saurait être passée sous silence, ce sont les éclairs en chapelet appelés aussi éclairs en perle, éclairs ponctiformes ou éclairs à étincelles; dans ce cas, le rayon lumineux tout entier apparaît comme résolu en une série de brillantes étincelles ou de petites boules, ou bien c'est un éclair en zigzag dont le bout s'effile en brillantes étincelles. Les éclairs en chapelet sont considérés par Planté comme un stade intermédiaire entre la forme ordinaire sinueuse ou rectiligne et celle de la foudre globulaire. Comme les expériences de Planté pour l'explication de la foudre globulaire exigeaient de puissantes batteries secondaires que tous les cabinets de physique n'ont pas à leur disposition et que la répétition de toutes les autres décharges d'électricité atmosphérique réussit avec la machine à influence, F. von Lepel s'est proposé le problème d'imiter le phénomène de la foudre globulaire avec la machine à influence. Il a réussi, en effet, à résoudre ce problème, et il a pu, à l'aide d'une puissante machine à influence, pro-

duire, comme dans les expériences de Planté, le phénomène consistant en petites sphères d'étincelles qui voyagent. Une description approfondie des recherches F. von Lepel se trouve dans le *Zeitschr. f. Electrotechnik*, *Org. d. el. Ver. in Wien*, VIII[e] année, 1890, 10[e] cahier, pages 487-490. Les expériences de von Lepel montrent que l'électricité appelée statique se trouve en état, contrairement à l'ancienne manière de voir, de nous donner aussi, en petit, l'analogue des éclairs en boule.

Ces expériences pourraient sans doute être mieux appropriées à l'étude suivie des éclairs en boule, que ce n'est possible avec les dispositifs grandioses de Planté. Quoique l'explication définitive et inattaquable du phénomène aussi merveilleux que rare des éclairs en boule n'ait pas encore été trouvée, on peut, cependant, approuver le professeur docteur L. Weber, qui dit (*Zeitschr. d. Deutsch. Meteor Ges.*, 1885, p. 125) :

« Qu'on doit se contenter pour le moment de répondre affirmativement, sur la foi des expériences de Planté et de celles plus récentes de Lepel, à la question de l'existence de la foudre globulaire, en attendant que des investigations ultérieures donnent l'explication particulière de telle ou telle forme du phénomène. »

Remarque finale. — Il faudra, autant que possible, ne pas perdre de vue les points suivants dans les informations relatives aux observations d'éclairs en boule, relations que l'auteur serait très reconnaissant qu'on voulût bien lui envoyer.

1° Indications exactes du moment du début et de la durée, on pourra donner seconde par seconde le chemin des éclairs à marche lente ; l'indication de l'époque du début du phénomène sert à établir si des cas sem-

blables, qui auraient été notés en d'autres lieux, se sont produits à la même époque et si, par suite, on peut admettre dans la région une tendance générale à l'apparition d'éclairs en boule;

2° Description des lieux. Le phénomène a-t-il été observé à l'air libre ou dans des bâtiments? Y avait-il, dans le voisinage, des maisons ou des pièces d'eau? La boule paraissait-elle en provenir? Y a-t-il du fer dans le sous-sol? A-t-on déjà aperçu au même endroit d'autres éclairs en boule?

3° Chemin de l'éclair en boule. L'a-t-on vu clairement descendre du nuage? Avait-il une marche horizontale et courait-il à peu de distance au-dessus du sol? S'en allait-il de la terre vers le ciel? Quel chemin s'est-il frayé, par exemple, dans des bâtiments? Quelles traces a-t-il laissées? Quelles destructions y aurait-il causées? Suivait-il les métaux ou sa route n'en était-elle influencée que d'une façon inappréciable?

4° Aspect de l'éclair en boule. Quelle forme, quelle grandeur avait-il (on est prié de faire un dessin)? De quelle couleur était-il? Avait-il une atmosphère autour de lui? Répandait-il sensiblement de la chaleur et une odeur déterminée? De quelle façon est-il disparu?

5° Situation orageuse. L'éclair en boule est-il survenu pendant l'orage? Celui-ci a-t-il présenté quelques particularités? L'éclair a-t-il été observé au début, lors de la plus grande intensité de l'orage, ou bien à la fin? A-t-on vu pendant l'orage plusieurs éclairs en boule, soit même quelque éclair en chapelet? Y avait-il du tonnerre? A-t-on vu tout à coup des boules dans un coup de tonnerre subit, c'est-à-dire après un éclair ordinaire, ou bien a-t-il tonné, par exemple, comme un coup de canon, à la disparition du phénomène? S'il n'y

a pas eu en même temps d'orage, s'en est-il produit un auparavant ou après, et pendant combien de temps? La tension électrique de l'air était-elle importante et par quoi a-t-on été conduit à cette manière de voir? Quelles étaient la pression et la température? Quelle forme de nuage a-t-on aperçue? Tombait-il de la pluie, de la neige, du grésil, de la grêle? Le brouillard régnait-il? A-t-on vu des feux de Saint-Elme et ont-ils disparu quand s'est produit l'éclair en boule, ou n'ont-ils commencé qu'alors?

6° Quelles personnes ont-elles aperçu l'éclair en boule? Avaient-elles ou non entendu parler de ces phénomènes? Un brusque éclair brillant, qui aurait précédé immédiatement, aurait-il facilité ou non une illusion d'optique? Combien de temps après l'événement a-t-on procédé à une enquête scientifique sur les faits?

(*Trad. par J.-B. P.*).





NOTES SUR LA TÉLÉPHONIE AUX ÉTATS-UNIS (*)

I. — Distribution dans les réseaux souterrains.

On a été généralement mal satisfait, aux États-Unis, du service donné par les boites de distribution; celles-ci sont fort commodes pour diviser entre plusieurs câbles secondaires les conducteurs qui y aboutissent par un gros câble ou en changer la répartition; cependant les systèmes combinés jusqu'ici présentent le grave inconvénient d'entrainer une diminution dans la résistance d'isolement des fils : non seulement il y a toujours difficulté à obtenir une bonne fermeture étanche, mais on enferme nécessairement dans la boite, de temps à autre, de l'air humide, d'abord parce que les boites sont placées dans des trous d'hommes ou autres lieux bas et généralement humides, ensuite parce que l'ouverture se fait dans une saison quelconque et par les temps les plus divers. Il n'est peut-être pas impossible de combiner un système tel que

(*) Ces notes sont tirées en grande partie d'un rapport adressé à l'Administration par M. de la Touanne à la suite d'une mission aux États-Unis qui lui a été confiée en 1893. l'Administration a bien voulu autoriser le Comité de rédaction des *Annales télégraphiques* à en faire divers extraits. (N. du C. de R.)

les attaches des fils, une fois faites, soient pratiquement soustraites à l'influence de l'air humide et l'on doit espérer que le problème recevra une solution; on peut se demander néanmoins si, dans certains cas où l'emploi de ces boîtes serait reconnu particulièrement désirable, le système le plus simple ne serait pas d'y enfermer de l'air sec et de les disposer de manière à y appliquer le lavage à l'air sec. Quoi qu'il en soit, dans l'état présent, les boîtes de distribution sont d'un médiocre service et l'on n'y a pas recours. Lorsqu'il est nécessaire de prendre sur un câble un certain nombre de conducteurs, on soude sur le gros câble un câble plus petit dont les fils sont raccordés à ces conducteurs et en constituent ainsi l'extrémité; quelques conducteurs, dans le gros et dans le petit câble, sont, bien entendu, réservés pour les besoins futurs et sont tout d'abord laissés disponibles.

Ce mode de raccord est excellent; malheureusement le système a le défaut de manquer de flexibilité. Déjà, si les branchements en câbles secondaires sont faits à l'extrémité du câble principal, il est impossible de transférer un conducteur d'un câble secondaire dans un autre; néanmoins tous les fils du câble principal peuvent être considérés comme utilisés, ou utilisables dans un avenir rapproché. Mais ce cas, tout favorable qu'il soit relativement, est exceptionnel; il se présente par exemple au début de l'installation d'une canalisation dans un réseau déjà vieux; au bout de quelque temps, cette façon de procéder devient impraticable. On ne peut, sous peine d'augmenter dans une énorme proportion le nombre des fils en réserve et d'immobiliser un capital considérable, s'imposer de ne faire de branchements sur un câble de cinquante à cent paires

qu'à l'extrémité dudit câble : en fait, on branche des câbles secondaires en différents points du câble principal et alors il se produit ceci, que des sections entières de fils, situées au delà du point de branchement, restent inutilisées. Il est évident que l'inconvénient devient de plus en plus grave à mesure qu'on adopte des câbles principaux renfermant un nombre de conducteurs de plus en plus grand. D'autre part, l'emploi des câbles à cinquante paires est en lui-même plus économique que celui des câbles moindres et celui des câbles à cent paires l'est encore davantage. Le problème à résoudre est donc des plus intéressants.

Distribution multiple. — Voici la solution qu'on a proposée récemment et que l'on commence à expérimenter. Supposons, à titre d'exemple, que d'un point origine (bureau central) A, à un point terminal L, il existe neuf branchements B, C, D, E, F, G, H, I, K, correspondant à des groupes de maisons d'abonnés *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i*, *k*, le point terminal L correspondant à un groupe *l*. On sait, grâce à l'expérience acquise antérieurement, que l'ensemble des groupes *b*, *c*, *d*, par exemple, augmentera de 10 p. 100, presque sûrement, dans un délai assez rapproché, mais on ignore comment se répartira cette augmentation entre les trois groupes *b*, *c*, *d*, et même comment, par suite des déménagements, cessations d'affaires, créations de nouvelles industries, etc., se répartiront, entre les trois groupes, les postes d'abonnés qui en font actuellement partie, considérés au seul point de vue du nombre. Si l'on veut parer aux besoins, on sera obligé, avec le système précédent, de prévoir dans chaque branchement non pas seulement 10 p. 100 d'augmentation, mais 15 p. 100 et peut-être plus parce

qu'on ne peut savoir si les 10 p. 100 de l'ensemble, pour n'envisager que cet élément de modification, ne se porteront point en majeure partie sur un ou sur deux des groupes, sans affecter le troisième : une prévision de 10 p. 100 pour l'ensemble des trois groupes va donc se traduire par l'immobilisation effective d'un nombre de conducteurs égal à 15 p. 100 du nombre de ceux en service; c'est-à-dire que le nombre de conducteurs immobilisés sera de 50 p. 100 supérieur à ce qu'il devrait être et que, dans les sections BC, CD, un nombre correspondant de conducteurs sera inutilisable : seront également inutilisables les portions de conducteurs comprises dans ces sections et formant le prolongement des conducteurs en service dans le

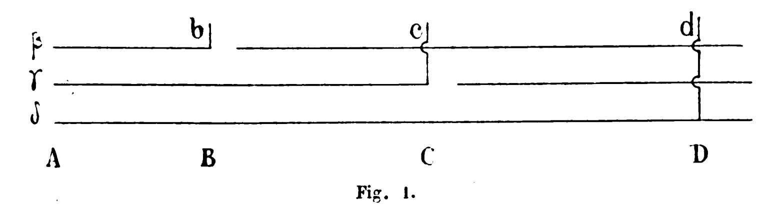


Fig. 1.

groupe *b* et de ceux en service dans le groupe *c*. Il sera impossible de s'en servir pour transférer, dans *c* par exemple, des postes abandonnés dans *b* et qu'il faut remplacer numériquement par autant de nouveaux postes à établir dans *c*. Au lieu de cela, laissons tous les conducteurs (β, γ, δ), partant de A et qui sont en service dans l'un quelconque des trois groupes *b*, *c*, *d*, continus de A jusqu'en D, ajoutons-y, dans les mêmes conditions, 10 p. 100 du nombre total, à titre de réserve; puis, en B, C, D, prenons des *dérivations* sur tous ces conducteurs ; nous serons toujours en mesure de relier aux conducteurs β tous les abonnés du groupe *b*,

aux conducteurs γ tous ceux du groupe *c*, aux conducteurs δ tous ceux du groupe *d* : si nous laissons isolées en C et en D toutes les dérivations provenant des conducteurs β, les abonnés de *b* parleront dans les conditions normales, à une augmentation près dans la capacité de la ligne, provenant des longueurs de fils ajoutées dans le câble et dans les dérivations; nous reviendrons tout à l'heure sur cette augmentation. De même pour les groupes *c* et *d*. Nous aurons donc déjà la faculté de transporter un poste du groupe *b* dans le groupe *c* ou le groupe *d* sans toucher au câble principal, en nous servant des sections de fil contenues dans ce câble même et isolant dans le groupe *b* la dérivation qui y correspond, puis reliant le nouveau poste à la dérivation prise sur les mêmes conducteurs β en C ou en D. En même temps, nous nous serons ménagé les 10 p. 100 de conducteurs de réserve qui étaient nécessaires à l'ensemble des trois groupes *b*, *c*, *d*; nous n'aurons pour cela immobilisé effectivement qu'un nombre de conducteurs φ égal à 10 p. 100 de celui des conducteurs en service, ce 10 p. 100 pouvant être utilisé en l'un quelconque des trois groupes *b*, *c*, *d*. On paraît s'être arrêté, en ce moment, au nombre de trois dérivations au plus sur chaque circuit. En réalité, on ne prendra pas les trois dérivations de chacun des conducteurs des groupes β, γ, δ, la première en B, la seconde en C, la troisième en D. On placera évidemment (*fig.* 2) en B toutes les premières dérivations, β′, des conducteurs β parce que cela est indispensable pour desservir les abonnés du groupe *b*; mais les deuxièmes dérivations β″ ne seront placées en C que pour un certain nombre de conducteurs β; d'autres seront mises en D ainsi que quelques-unes des troisièmes β‴; celles

restant disponibles sur les trois admises seront réparties entre les groupes *e*, *f*, *g*,..... donnant ainsi le maximum de flexibilité au système. On procédera de même pour les conducteurs des groupes γ, δ,..... et

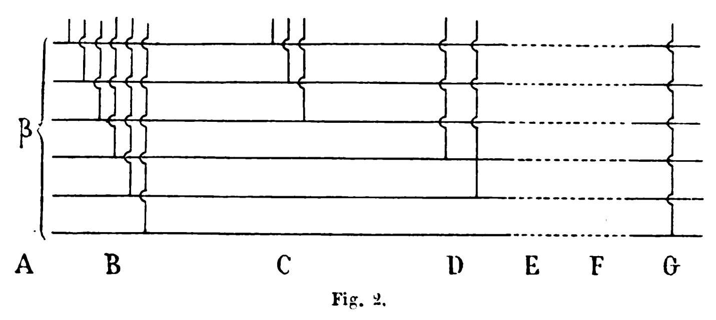


Fig. 2.

pour les fils de réserve. Plus tard et seulement quand les divers branchements constitués à un certain point suffiront, ou à peu près, à utiliser les conducteurs d'un câble principal, on posera un nouveau gros câble, celui-là direct, sans dérivations, comme tronc commun à ces branchements qu'on enlèvera, en presque totalité, aux câbles principaux omnibus. On aura économisé du temps, de l'argent et des fausses manœuvres.

L'objection qui se présente est celle relative à l'accroissement de capacité des lignes d'abonnés ; c'est en partie pour y répondre qu'on a résolu de ne pas multiplier outre mesure les dérivations : on a décidé en outre que l'accroissement de capacité dû aux dérivations ne devrait pas élever cette capacité au-dessus de celle correspondant à la capacité kilométrique qu'on avait assignée comme limite supérieure pour les câbles souterrains après, l'avoir reconnue satisfaisante, et au-dessous de laquelle se tiennent toujours les constructeurs.

Cette méthode nous paraît mériter considération.

II. — Influence des réseaux de tramways électriques sur l'enveloppe métallique des cables souterrains.

Les réseaux de tramways électriques à conducteur aérien unique se sont développés d'une façon remarquable pendant les dernières années ; la plupart du temps, les rails sont alors employés pour le retour du courant moteur. Il s'est trouvé que, dans un certain nombre de villes dotées de câbles téléphoniques souterrains, la coexistence des deux réseaux a entraîné l'attaque partielle et quelquefois la perforation complète des tubes de plomb formant le revêtement des câbles. Le même phénomène s'est d'ailleurs manifesté sur les conduites d'eau ou de gaz, bien que la nature des entreprises les utilisant et les conditions dans lesquelles sont posées ces conduites aient généralement empêché de les remarquer aussi promptement.

A l'examen, il a été reconnu : 1° qu'il existait des sections où le tube de plomb servait de conducteur aux courants de retour des tramways et que, sur certaines sections, le courant allait du câble au sol, sur d'autres, du sol au câble ; 2° que, partout où la destruction s'accomplissait, la portion du tube atteinte était en contact avec des parois humides (sol, murs de trous d'hommes...), et qu'en ces points un courant passait du tube au sol : c'est l'action d'électrolyse s'exerçant dans le sens ordinaire. D'autre part, il n'y a pas de doute que les différences de potentiel constatées entre le câble et le sol soient dues aux installations de tramways électriques ; l'expérience suivante, faite à

Boston, est très nette à cet égard. Le pôle négatif de la dynamo, à la station génératrice, étant relié au fil de trolley et le pôle positif à la voie, on a déterminé des districts (A) entourant les stations, où l'enveloppe en plomb était négative par rapport au sol et des districts (B) relativement éloignés des stations, où le sol était négatif par rapport au câble ; puis, renversant les communications aux stations, c'est-à-dire reliant le fil de trolley au pôle positif des dynamos et la voie au pôle négatif, on trouva qu'autour des stations le câble était devenu positif par rapport au sol et négatif dans les parties de la ville plus éloignées ; pour une raison quelconque les limites des districts s'étaient modifiées. Sauf ce dernier point, on peut expliquer dans une certaine mesure les effets constatés. Supposons que les communications sont celles indiquées en dernier lieu, le pôle positif des dynamos relié aux fils de trolley, le pôle négatif aux voies, c'est-à-dire au sol. Celui-ci est souvent fort loin de posséder, comme on l'admet, une conductibilité pratiquement infinie et, dans certains cas, la résistance électrique entre deux points donnés sera plus grande que celle présentée par le revêtement en plomb d'un câble téléphonique : dès lors le revêtement de plomb en question servira de conducteur aux courants de retour pour une fraction plus ou moins forte. De plus, si, au voisinage de l'usine génératrice, l'action du pôle négatif des dynamos est prépondérante et rend le sol négatif, il n'en est plus de même à une certaine distance où le sol est électrisé positivement par la communication à travers les moteurs et le fil de trolley, bon conducteur, avec le second pôle des dynamos. Il est donc naturel que, dans cette dernière région, si un courant s'établit entre le sol et

le câble, il aille du sol au câble et que, dans la première, il aille du câble au sol.

Quoi qu'il en soit, le dommage causé pouvant devenir considérable (un tuyau d'eau en fer a été percé en quatre semaines), divers moyens ont été mis à l'essai ou proposés pour le prévenir. On a remédié complètement au mal, à Boston, pour les câbles téléphoniques, en reliant les tubes de plomb qui en forment l'enveloppe aux pôles négatifs des dynamos près des stations centrales et à la voie dans le reste du réseau, les fils de trolley étant en communication avec les pôles positifs : les tubes deviennent ainsi négatifs par rapport au sol et les courants qui peuvent exister entre les deux corps en présence vont du sol au câble. Il ne serait pas exact cependant de présenter la solution comme absolue en principe, car s'il se produit encore un courant entre le plomb et la terre, il y a possibilité de décomposition de sels alcalins existant à l'état de dissolution dans le sol et d'attaque par les éléments alcalins libérés, quand l'action du courant cesse ultérieurement.

Tout semble concourir d'ailleurs à prouver que le danger tient à l'insuffisance de conductibilité que présente la *voie* du tramway (*). On peut citer en par-

(*) Nous disons avec intention *la voie* et non *les rails,* car la résistance propre de ceux-ci est extrêmement faible et probablement assez basse pour donner toute sécurité; c'est aux joints, comme en témoignent les nombres ci-après, qu'apparaît le défaut de conductibilité. La résistance kilométrique d'une ligne à deux voies, avec rails non réunis aux joints par un lien de communication supplémentaire et les quatre séries de rails non reliées entre elles, fut trouvée, la terre étant sèche, de $0^{\omega},4770$. Les rails de chaque série furent reliés entre eux à l'aide de fils de fer de presque 6 millimètres et les quatre séries mises en communication entre elles ; la résistance kilométrique tomba à $0^{\omega},0495$ en terrain sec et $0^{\omega},0445$ en terrain humide, cela sans aucun fil de retour spécial. Sur les sections où les liaisons furent

ticulier ce fait que, dans une même ville, alors que les câbles étaient attaqués dans certaines rues où la voie servait de retour au courant, ils restaient indemnes dans une rue voisine où le retour s'opérait par l'ensemble des masses métalliques considérables supportant un chemin de fer aérien. Aussi la tendance est-elle à diminuer la résistance des joints entre rails consécutifs soit à l'aide de liens conducteurs supplémentaires de bonne conductibilité, soit même par la soudure des rails entre eux sur une grande longueur, 600 mètres par exemple, et emploi de liens conducteurs entre les sections ainsi constituées. D'une façon générale, il semble que le fil de retour spécial soit d'une médiocre efficacité et qu'il vaille mieux en utiliser le métal pour renforcer les liens aux joints des rails.

Nous ajouterons enfin que l'action destructive a été constatée dans des cas où la différence de potentiel mesurée entre un câble et le sol ne dépassait pas une fraction de volt et qu'il suffit parfois, nous avons cité tout à l'heure un exemple de ce genre, de deux ou trois semaines pour que l'action se manifeste.

(*A suivre.*) G. DE LA TOUANNE.

faites avec du fil de cuivre de même diamètre que le fil de fer précédent, rivé sur les deux rails adjacents et soudé à un fil de retour continu en cuivre, avec les rails reliés transversalement tous les 60 mètres, la résistance s'abaissa à $0^{\omega},0128$ en terrain humide.



CHRONIQUE.

Mort apparente produite par les courants alternatifs. — Rappel à la vie par la respiration artificielle.

Note de M. A. d'Arsonval, presentée par M. Cornu.

Dans ma note du 4 avril 1887 (*), j'ai montré que l'électricité provoque la mort de deux façons très différentes :

1° Par lésion ou destruction des tissus (effets descriptifs et électrolytiques de la décharge) ;

2° Par excitation des centres nerveux produisant l'arrêt de la respiration et la syncope, mais sans lésion matérielle.

Dans le premier cas, la mort est définitive; dans le second, au contraire, elle n'est qu'apparente. J'ai prouvé qu'il était possible alors de rappeler le foudroyé à la vie en pratiquant la respiration artificielle. Aussi ai-je pu résumer mes nombreuses expériences dans la formule pratique suivante : *un foudroyé doit être traité comme un noyé.*

M'appuyant sur ces faits, je me suis élevé contre la peine de mort appliquée en Amérique sous le nom d'*électrocution*, le courant alternatif industriel employé dans ce cas produisant presque toujours le second genre de mort.

Un accident arrivé ces jours derniers, accident dont les conditions ont pu être déterminées avec toute la rigueur d'une expérience de laboratoire, vient confirmer sur l'homme ce que j'avais vu sur les animaux.

Voici la relation du fait qui m'a été communiqué par MM. Picou et Maurice Leblanc, deux électriciens bien connus, témoins oculaires de l'accident et sauveteurs de l'électrocuté.

Lorsque l'accident de Saint-Denis s'est produit, l'électro-

(*) *Comptes rendus*, 1887, t. CIV, p. 978.

mètre d'Épinay, monté entre deux de nos trois fils, marquait 4.500 volts et l'ampèremètre, intercalé dans l'un d'eux, marquait 750 milliampères.

A l'endroit où l'accident s'est produit, les trois fils sont portés par un potelet, scellé dans un mur à 6 mètres environ au-dessus du sol. L'homme qui a été frappé était à cheval sur la barre de scellement inférieur, tenant d'une main l'un des conducteurs. Il avait monté avec lui un fil téléphonique qu'il était en train de poser. Ce fil s'appuyait sur la barre de scellement et a touché un autre des trois conducteurs.

Le courant s'est formé à travers l'homme, entrant par une main et sortant par une fesse, en court circuit.

Il a donc supporté directement toute la tension (4.500 volts, fréquence 55 environ). Combien de temps? Il est difficile de le dire avec précision, mais certainement plusieurs minutes. Le court circuit qu'il a établi a déterminé la production d'étincelles au collecteur de l'appareil d'Épinay. L'agent qui le surveillait s'est douté d'un accident sur la ligne et a téléphoné à à la Chapelle d'arrêter. Tout cela représente un temps assez long.

A ce moment, nous partions d'Épinay et nous étions déjà dans le train quand nous avons été avisés qu'un accident venait de se produire.

Un quart d'heure environ après nous sommes arrivés à Saint-Denis; cet homme était toujours à cheval sur la barre de scellement et ne donnant plus signe de vie. On a eu beaucoup de mal à le descendre, et cette opération a pris au moins une demi-heure.

Suivant vos avis, nous avons pratiqué la respiration artificielle (en faisant manœuvrer les bras), d'abord sans résultat. Je lui ai ouvert la bouche de force et ai dégagé la langue, ses poumons ont fonctionné presque aussitôt. Il a pu parler après deux heures. Il était brûlé à la main droite et à la fesse; aujourd'hui il va bien.

Il y a quelques jours, on m'écrivait de nouveau : « Le blessé va bien. Il est à noter qu'aucun trouble particulier, dû au passage du courant à travers son corps, ne s'est manifesté. On n'a eu qu'à se préoccuper de soigner les brûlures ».

Tout commentaire me paraît superflu, et je me contenterai

de répéter comme conclusion : *Un foudroyé doit être traité comme un noyé* (*).

(*Comptes rendus*, 21 mai 1894.)

Prix de l'énergie fournie par les moteurs à gaz (**).

A la dernière assemblée de la *Société industrielle du Nord de la France*, M. Aimé Witz a fait une communication des plus intéressantes sur *Le prix de l'énergie fournie par les moteurs à gaz*. Après avoir rappelé les expériences par lesquelles il avait démontré, à différentes reprises, qu'on produisait plus de lumière en actionnant des dynamos par les moteurs à gaz qu'en brûlant aux becs la même quantité de gaz, M. Witz raconte comment les compagnies gazières ont été amenées à créer des stations centrales d'éclairage électrique.

Il y a aujourd'hui en France 16 stations mues par des moteurs à gaz. Annexées aux usines à gaz, ces stations permettent aux compagnies de conserver des clients qu'elles perdraient si elles s'obstinaient à ne leur offrir que du gaz. M. Witz estime que, d'une manière générale, on peut, dans ces conditions, vendre l'hectowatt-heure à $0^{f},10$ en réalisant encore des bénéfices suffisants, et il établit ce chiffre sur une étude détaillée et précise des frais d'exploitation, d'intérêt et amortissement. Mais, en bien des cas, il y aurait pour les consommateurs de lumière un avantage considérable à organiser des groupements entre eux et à installer des sous-stations desservant des îlots d'habitations dans les quartiers riches;

(*) En présentant ma note à l'Académie le 4 avril 1887, M. Brown-Séquard rappelait qu'au laboratoire nous hâtions grandement les effets de la respiration artificielle en excitant électriquement les nerfs laryngés. Le Dr Laborde a trouvé un moyen simple d'arriver au même résultat en exerçant des tractions rythmées de la langue. Aussi conseillerai-je d'adjoindre à la respiration artificielle (procédé de Sylvester) le procédé que le Dr Laborde vient de décrire dans un opuscule récent (Voir *Les tractions rythmées de la langue*, Félix Alcan, éditeur).

(**) *Société industrielle du Nord de la France*, assemblée générale du 30 mai 1894. — Extraits d'un compte rendu fait par l'*Industrie électrique*, 10 juin 1894.

les cafés, les hôtels, quelques grands magasins et un certain nombre de maisons pourraient, en se syndicant, se fournir de lumière à bas prix : il suffit pour cela de disposer, au centre de l'îlot, d'un petit local pour y placer le moteur et la dynamo.

M. Witz a trouvé qu'un éclairage annuel de 150.000 lampes-heures avec des lampes de 16 bougies met l'hectowatt-heure au prix de $0^f,0533$, quand le gaz coûte $0^f,15$ le mètre cube. Une consommation annuelle de 450.000 lampes-heures l'abaisse à $0^f,0418$, et l'on tombe à $0^f,0352$ quand on distribue la lumière sur 1.500.000 lampes-heures. Ces chiffres sont basés sur des bilans complets avec intérêt et amortissement à 15 p. 100 sans bénéfice. Mais les frais sont très réduits, précisément parce que les canalisations d'un îlot sont peu étendues.

Voici d'ailleurs les chiffres cités par M. Witz pour un groupe de 1.000 lampes (65 kilowatts):

Frais de premier établissement.

Aménagement d'eau et de gaz, compteurs	3.000 fr.
Un moteur à gaz de 120 chevaux	30.000
Fondation, installation, tuyauterie, etc.	5.800
Transmissions, courroies	5.000
Dynamo, pose et installation	12.500
Conducteurs et accessoires, imprévu	8.700
Total	65.000 fr.

Frais d'exploitation (pour 97.500 *kilowatts-heure).*

Loyer du local	1.000 fr.
Salaire du mécanicien	1.200
Gaz (65 kw. $\times$ 1.500 h. $\times$ $0^{m3},127$ $\times$ $0^f,15$)	18.573
Eau (65 kw. $\times$ 1.500 h. $\times$ $0^{m3},005$ $\times$ $0^f,20$)	975
Huile (65 kw. $\times$ 1.500 h. $\times$ $0^{kg},004$ $\times$ $0^f,65$)	2.535
Intérêt et amortissement à 15 p. 100	9.750
Divers	267
Total	34.300 fr.

Nous avons alors les chiffres suivants :

Frais d'établissement par lampe		65 fr.
Prix de revient du kilowatt-heure		$0^f,352$
Prix de revient de la lampe-heure de 16 bougies.	$\left\{ \begin{matrix} 1^f,98 \\ 0^f,20 \end{matrix} \right\}$	$0^f,0218$

E. V.

Sur l'électrolyse du sulfate de cuivre.

Note de M. A. Chassy, présentée par M. Lipmann.

Si l'on électrolyse du sulfate de cuivre à chaud, on obtient, dans un grand nombre de cas, un dépôt rouge violacé remarquable. A 100° par exemple, avec une densité de courant d'environ un centième d'ampère par centimètre carré, une solution saturée de cuivre pur donne sur une électrode en platine un beau dépôt, qui, examiné au microscope, présente de magnifiques cristaux d'un rouge vif, dont les formes dérivent du cube et de l'octaèdre.

Le dépôt n'est pas toujours homogène; si l'on diminue la température de décomposition, on obtient de petites masses cristallines jaune rougeâtre de cuivre, disséminées à travers les cristaux rouges. Plus la température est basse, plus la proportion de cuivre métallique est grande. Ainsi, vers 40°, on obtient seulement quelques cristaux rouges isolés. Une augmentation de la densité du courant ou une diminution de la concentration produisent le même effet qu'un abaissement de la température de l'expérience. Dans tous les cas, pour obtenir les cristaux rouges, il faut une solution presque neutre; l'expérience réussit aussi bien avec un liquide privé d'air par une ébullition prolongée.

En analysant, par la méthode si précise de M. Riche, le dépôt, quand il ne présente au microscope aucune partie de cuivre jaune, on trouve qu'il représente exactement du sous-oxyde rouge de cuivre, de sorte que les cristaux considérés sont des cristaux de cuprite artificielle.

Un autre fait intéressant à noter est la différence entre le poids de ce dépôt et le poids de celui que l'on obtient à l'électrode négative d'un voltamètre à sulfate de cuivre froid, en série avec le voltamètre chaud. Le poids du dépôt dans ce dernier surpasse toujours beaucoup celui qui correspondrait à l'oxydation du cuivre déposé dans la solution froide. Le rapport entre les deux dépôts est égal environ à 1,35 dans de bonnes conditions; or le rapport serait seulement égal à 1,12 si le dépôt du voltamètre chaud ne provenait que de l'oxydation d'une quantité de cuivre déposée égale à celle de l'autre voltamètre. Si, dans la solution à 100°, on met une plaque

en cuivre, de même dimension que la lame de platine sur laquelle se dépose la cuprite, et, pendant le même temps, on obtient bien une légère augmentation de poids, correspondant à une faible oxydation, mais cette augmentation est presque négligeable par rapport à la différence de poids des dépôts des deux voltamètres en série.

Quant à la diminution de poids de l'électrode positive en cuivre dans la solution chaude, elle est toujours plus petite que l'augmentation de l'autre électrode, par suite de cette faible oxydation du cuivre à chaud. Il faut donc se garder de déduire l'intensité d'un courant, de mesures faites avec une solution chaude de sulfate de cuivre; il y a déjà une faible erreur quand le sel est légèrement acidulé et que la densité du courant est assez grande, mais l'erreur est beaucoup plus importante avec le sel neutre et une faible densité de courant.

(*Comptes rendus*, 23 juillet 1894).

Correspondance.

Dans le dernier numéro des *Annales*, à propos du procédé employé et décrit par M. Barbarat pour le desséchement sur place de câbles déjà posés en égout, le Comité de rédaction des *Annales* avait rappelé (p. 197), d'après certains documents officiels qui lui avaient été communiqués, qu'en 1886 le service de la vérification du matériel avait expérimenté dans le même ordre d'idées sur des câbles en magasin.

M. Jacquin, inspecteur, chargé par M. Lagarde, chef du service, de diriger alors les opérations, nous adresse une note intéressante précisant les résultats obtenus. Le premier essai porta sur deux bobines de câble Fortin télégraphique à perles en bois, qui présentaient les isolements suivants :

$$(A)\begin{cases}1^{\Omega},05\\1\ ,77\\1\ ,19\end{cases}\qquad(B)\begin{cases}5^{\Omega},77\\6\ ,44\\6\ ,44\end{cases}$$

L'air fut aspiré à travers le câble à l'aide d'une simple

machine pneumatique ; il était desséché à l'entrée à l'aide d'acide sulfurique concentré, de chlorure de calcium et de chaux vive. Au bout de 35 heures environ de traitement, les isolements étaient remontés aux valeurs suivantes :

$$(A)\ \left\{\begin{array}{l}500^{\Omega}\\ 526\\ 455\end{array}\right. \qquad (B)\ \left\{\begin{array}{l}637^{\Omega}\\ 693\\ 543\end{array}\right.$$

Encouragé par ces résultats, on entreprit de traiter deux autres bobines (C) et (D) de même type à l'aide d'un aspirateur plus pratique qu'une machine pneumatique et l'on employa une trompe à eau. La bobine (C) mise en traitement le 16 août avec des isolements de

$$\left\{\begin{array}{l}56^{\Omega},7\\ 50\ ,4\\ 45\ ,4\end{array}\right. \text{ donna, le 19 août, } \left\{\begin{array}{l}1787^{\Omega}\\ 1721\\ 1290\end{array}\right.$$

La bobine (D) mise en traitement le 19 août avec des isolements de

$$\left\{\begin{array}{l}1^{\Omega},03\\ 1\ ,03\\ 0\ ,66\end{array}\right. \text{ donna, le 6 septembre, } \left\{\begin{array}{l}1503^{\Omega}\\ 1503\\ 1127\end{array}\right.$$

L'Administration, pour divers motifs, ne jugea point, à ce moment, qu'il y eut lieu de pousser plus loin ces essais.

BIBLIOGRAPHIE

Câbles souterrains Yof-Dakar, par M. Charles Bright, C. E., F. R. S. E., Ingénieur et Électricien de l'*India Rubber, Gutta Percha and Telegraph Works C°*.

L'*India Rubber, Gutta Percha and Telegraph Works C°* exploite la ligne télégraphique de Saint-Louis du Sénégal à Sainte-Marie de Bathurst, qui franchit en câbles terrestres la presqu'île de Dakar. Les deux conducteurs souterrains qui forment rechange l'un pour l'autre ont été établis en 1885. Par suite de diverses causes, les conditions électriques en étaient, au début de 1893, tellement défectueuses que, pour actionner le siphon enregistreur de Saint-Louis, Bathurst devait transmettre avec 30 éléments. M. Charles Bright fut chargé par la Compagnie de procéder à une revision et à une réparation de ces câbles terrestres; c'est le rapport qu'il rédigea à la suite de ce travail qu'il a publié. Il y donne tout le détail des opérations auxquelles il a dû se livrer et, sans mettre en relief des faits absolument nouveaux, il apporte des preuves fort intéressantes des inconvénients que présentent certaines pratiques et des dangers que courent les câbles dans les pays tropicaux.

L'influence désastreuse des *coques* et la nécessité de *dérouler* le câble, c'est-à-dire de faire tourner la bobine sur laquelle il est emmagasiné, au lieu d'en détacher simplement les spires par un mouvement latéral, lui a été montré une fois de plus avec trop d'évidence par le nombre de défauts qu'il a eus à relever et qui provenaient de coques semblables.

Il signale les véritables ravages faits par les fourmis blanches dans les appareils servant aux mesures ou aux raccords des câbles dans les guérites, etc. Nous mentionnerons aussi le dispositif qu'il préconise pour les guérites en pays chauds, bassin étanche en maçonnerie établi dans le sol pour déposer dans l'eau une petite bobine de câble terminant le câble sou-

terrain et surmonté d'une boîte métallique aussi parfaitement close que possible, renfermant les bornes et organes servant au raccordement.

Régularisation des moteurs des machines électriques, par M. P. Minel, Ingénieur des constructions navales. Gauthier-Villars et fils; G. Masson.

La condition essentielle de tout bon éclairage est la constance des foyers lumineux; ceux-ci doivent, pendant leur fonctionnement, conserver un éclat invariable. Pour obtenir cette constance dans le cas de l'éclairage électrique, on a tout à la fois porté son attention sur le mode de construction des dynamos et sur la régularisation de la marche des moteurs. Dans le volume que M. P. Minel vient de publier dans l'*Encyclopédie des aide-mémoire*, il examine les régulateurs de moteurs à force centrifuge, avec ressort antagoniste, agissant sur la pression de la vapeur. M. Minel a traité ce problème de la façon la plus heureuse; il en donne une solution pratique et sûre. La question intéresse actuellement un grand nombre d'électriciens; nous croyons que l'ouvrage de M. Minel leur fournira des données et des méthodes utiles.

L'Éditeur-Gérant : Vve Ch. Dunod et P. Vicq.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1894 **Septembre-Octobre**

MISSION TÉLÉGRAPHIQUE A EL GOLÉA

A la fin de l'année 1893, le réseau télégraphique algérien s'étendait jusqu'à Aïn Sefra et Géryville dans le sud oranais, Tadjemout, Laghouat et Ghardaïa dans le département d'Alger et Biskra dans la province de Constantine. De plus, des communications optiques, un peu irrégulières d'ailleurs, existaient entre Biskra, Touggourt et Ouargla. Ghardaïa représentait le point le plus avancé du réseau électrique, mais la limite de notre occupation était déjà reportée beaucoup plus loin depuis quelques années.

Une garnison assez importante se trouvait à El Goléa, à 250 kilomètres au sud et trois points d'eau, Inifel, Chebbaba et El Homeur, situés à 150 kilomètres plus loin dans la direction sud-est, sud et sud-ouest, étaient occupés ou devaient l'être incessamment, en vue d'y construire de petits forts qui reçurent respectivement les noms de Lallemand, Miribel et Mac-Mahon.

Notre extension dans le Sahara comporte un plan

d'ensemble relatif aux trois provinces et ayant pour but d'assurer de meilleures communications avec la partie de l'Algérie déjà occupée, de diminuer l'influence qu'exercent sur nos indigènes les chefs religieux affiliés au Maroc et à la Tripolitaine et d'ouvrir, s'il est possible, un chemin avec nos possessions de l'Afrique centrale. Cette dernière partie du programme ne pourra être efficacement examinée que lorsqu'on aura établi des relations sûres avec les populations touareg, qui occupent le désert entre l'Algérie et le Soudan. Pour soustraire les indigènes à l'action des marabouts voisins, l'autorité militaire estime utile d'occuper les oasis du Gourara, du Touat et du Tidikelt; de plus, par une attitude ferme mais bienveillante, elle s'efforce de substituer notre autorité à l'influence des chefs indigènes. Les Chambaa d'Ouargla et de Metlili qui dépendaient de la remuante tribu des Ouled Sidi Cheikh paraissent aujourd'hui complètement dans la main du commandement. L'assimilation est moins profonde, en ce qui concerne les Chambaa Mouhadi qui ont El Goléa comme centre; une assez forte proportion a quitté la région que nous occupons et vit en dissidence dans le Sahara.

La création de voies de communication sûres et rapides avec l'extrême-sud présente donc un grand intérêt. L'autorité militaire a déjà commencé un chemin entre Ghardaïa et El Goléa, mais la distance comporte dix étapes. Une ligne télégraphique était donc indispensable, aussi la demandait-on depuis plusieurs années.

Les renseignements fournis tout d'abord au sujet des dépenses à faire et des moyens à employer ayant paru insuffisants pour engager une opération de ce genre,

le gouvernement général chargea une commission de compléter l'étude. Cette réunion comprenait des représentants du gouvernement d'Algérie, de l'autorité militaire et de l'administration des télégraphes; elle exposa que les transports constituaient la partie la plus importante de l'opération, que le choix d'un tracé et l'évaluation approximative du matériel nécessaire ne pouvaient être faits qu'après un parcours des lieux et conclut à l'envoi d'une mission au cours de l'hiver 1893-94, dans le but de reconnaître le terrain, effectuer le canevas du tracé, indiquer le mode de construction convenable, rechercher les moyens de transports et préparer des marchés à exécuter au cours du printemps afin d'établir la ligne pendant l'hiver suivant.

L'administration des télégraphes avait d'ailleurs signalé à son représentant l'intérêt plus général qui s'attachait à cette étude et lui avait prescrit d'envisager en même temps l'extension du réseau dans des régions plus lointaines situées dans des conditions semblables. Le matériel employé jusqu'ici en Algérie et dans la plupart des colonies est en effet le même que celui qui sert en France, où l'on dispose de voies ferrées, de routes et d'attelages. Il était possible que ce matériel ne convînt pas à l'établissement des lignes dans les régions désertes, où il n'existe ni chemins ni voitures.

Or, à la date proposée pour le départ de la mission, des préparatifs militaires étaient faits pour une expédition au Touat; les événements de la côte marocaine firent ajourner cette opération, mais le gouvernement estima qu'il convenait de mettre à profit l'hiver 1893-1894 pour établir la ligne télégraphique avec les res-

sources dont on disposait. On avait, en effet, l'année précédente, acquis, en vue de cette construction, un approvisionnement de poteaux et de fil de fer qui était entreposé auprès du chemin de fer à Alger et à Berrouaghia.

Un projet fut établi à la hâte et des marchés furent préparés pour le transport de ce matériel à Ghardaïa. Les devis et marchés furent approuvés vers le milieu de décembre; d'après les renseignements recueillis sur la région, l'élévation de température et surtout les vents chargés de sable ne devaient plus permettre de travailler à la fin d'avril; il était donc nécessaire d'effectuer les transports de matériel et de personnel et de procéder à la construction dans le délai de quatre mois. Le travail en question a donc été exécuté sans étude ni reconnaissance préalable des lieux, avec du matériel identique à celui qui est employé en France et une organisation presque improvisée et dans des limites de temps très restreintes. Dans la première partie de cette note, on fera connaître la nature du sol et les ressources des pays traversés, la marche générale des opérations et les remarques auxquelles elles ont donné lieu; la seconde partie sera consacrée à l'étude et la description d'un nouveau matériel approprié à cet usage spécial.

I.

Le sud de l'Algérie n'est pas, comme on le croit généralement, occupé par une vaste plaine de sable aride, parsemée d'oasis couvertes d'une végétation luxuriante et spontanée; les prévisions que l'on pourrait faire avec une telle conception seraient aussi

inexactes que celles qui s'appuieraient sur le seul examen de la carte, sans connaître la signification qu'il faut attribuer à toutes ses indications : figuré de terrain, tracé d'oued, position des puits et des localités; il faut compléter cette étude avec les *itinéraires* publiés sur la région, ou mieux encore avec ceux plus récents que peuvent posséder les bureaux arabes. Les renseignements qui vont suivre se rapportent exclusivement à la province d'Alger, c'est-à-dire à la partie moyenne de l'Algérie; dans le département d'Oran, le Sahara est plus éloigné de la côte et il est plus rapproché dans celui de Constantine; mais, dans ces deux départements, la pénétration est actuellement plus facile que dans celui d'Alger en raison du développement plus considérable des voies ferrées. Le chemin de fer d'Oran aboutit à Aïn-Sefra (32°45′), la ligne de Constantine pénètre jusqu'à Biskra (34°50′), tandis que celle d'Alger s'arrête à Berrouaghia (36° 10′).

Les *Hauts-Plateaux* s'étendent entre le *Tell* et le *Grand Sahara*. Cette région pluvieuse et froide en hiver, brûlante en été, est déserte sur la plus grande partie de sa surface : elle comprend de vastes plaines de sable tantôt arides, tantôt couvertes d'alfa, des étendues importantes boisées et enfin quelques endroits cultivés ou plutôt ensemencés par les Arabes et laissés aux soins de la Providence jusqu'au jour de la récolte. Le versant nord des Hauts-Plateaux est par excellence la région du cheval et du mulet; on n'y rencontre de chameaux que pendant la belle saison. Le versant sud qui commence aux environs de Laghouat n'est pas pluvieux : les cultures, les forêts, l'alfa même n'y existent pas; les oued coulent d'une manière intermit-

tante, aboutissent à des *chott* ou disparaissent complètement desséchés. Le sol est généralement rocheux et nu; quelques alluvions se rencontrent parfois au fond d'une cuvette argileuse qui retient les eaux pluviales et dont les bords se recouvrent de végétation au printemps (*daya*). Plus loin, c'est la *chebka*, terrain rocheux absolument aride coupé d'une multitude de ravins. L'altitude s'abaisse au fur et à mesure qu'on avance dans le sud; elle est encore de 500 mètres au M'zab. Les chevaux et mulets sont rares dans cette région; on emploie presque exclusivement le chameau qui peut y vivre aussi bien l'hiver que l'été.

Le *M'zab* est dans la chebka; plus au sud on rencontre le Grand Sahara. Ce désert ne forme pas un tout homogène. A l'est et à l'ouest du méridien d'Alger se trouvent d'immenses étendues de sable qui portent le nom d'Erg oriental et d'Erg occidental; entre les deux, il y a une sorte de passe de 100 à 200 kilomètres de largeur où le terrain rocheux est à nu; c'est dans cette bande que se trouvent les pistes qui conduisent du M'zab ou d'Ouargla à Tombouctou par El Goléa et In Salah. Le sable ne couvre pas l'erg d'une manière uniforme; il suit souvent le relief du sol sous-jacent qui est très découpé et les dunes elles-mêmes se superposent de manière à former des chaînes de collines entre lesquelles existent quelques passages peu encombrés de sables. Celui de l'Oued Ighargar situé dans l'Erg oriental, au sud d'Ouargla et celui de l'Oued Seggheur qui conduit de Géryville à El Goléa, ont particulièrement attiré l'attention, il y a quelques années, à l'occasion du chemin de fer transsaharien. La passe de Ghardaïa à El Goléa n'est d'ailleurs pas absolument dépourvue de sable : de petits massifs

isolés ou des ramifications du grand erg la coupent en plusieurs points, mais les dunes ne sont pas très élevées; il en résulte néanmoins de mauvais passages qu'il est difficile d'éviter même au prix d'un long détour.

Au point de vue de la construction télégraphique, le sol que l'on rencontre peut être rapporté à trois types : la *hamada*, le *reg* et l'*erg;* au delà d'El Goléa, en se dirigeant sur le Touat, on rencontre un quatrième type, le *grès tendre*.

La hamada est une sorte de plaine formée de dalles rocheuses plus ou moins épaisses, quelquefois polies par le passage des sables, d'autres fois couvertes de pierres noires brûlées par le soleil, semblables aux scories d'un haut-fourneau; dans les fissures de ces dalles, dans les excavations où un peu de terre s'est accumulée, poussent quelques plantes sahariennes qui verdissent au printemps et se dessèchent ensuite; parmi ces plantes, d'ailleurs assez variées, certaines sont broutées par les chameaux, les chèvres, et les moutons, d'autres servent de combustibles. Fréquemment au-dessus de la hamada surgissent d'énormes rochers ayant plusieurs centaines de mètres de base et dont la hauteur atteint parfois 60 mètres, terminés le plus souvent par une sorte de table horizontale. Ces rochers sont généralement groupés sur une ou plusieurs files successives couvrant une grande étendue : ce sont les gours, témoins subsistants d'un plateau élevé couvrant toute la contrée. Sous l'action de la pluie, du vent et surtout du soleil, les parties les moins compactes de ces terrains se sont désagrégées et ont été enlevées. Les roches des gours sont très dures et refouillées de petites cavités comme une éponge : tout ce qui était attaquable a disparu.

Le *reg* est formé des résidus calcaires et argileux provenant de la désagrégation des roches; il couvre le fond de certaines vallées; c'est un terrain propre à la marche, dans lequel on peut pratiquer des trous sans difficultés.

Les grès résultant de la dislocation de la hamada ont donné naissance à un sable exclusivement quartzeux, en grains sphériques de moins de 1 millimètre de diamètre, transparents et d'une coloration légèrement ambrée. Humide, le sable est très compacte, sec, ses grains superficiels roulent les uns sur les autres avec facilité sous l'action du moindre vent; les couches supérieures se modifient et l'ensemble se dispose en dunes.

La dune constitue un monticule dissymétrique, ayant une croupe allongée et inclinée en pente douce du côté d'où vient le vent, un talus raide, légèrement concave du côté opposé et à l'intersection des deux surfaces, une arête vive transversale courbée en croissant. Le sable poussé par le vent gravit la pente antérieure, s'élève jusqu'au sommet et de là tombe suivant le talus postérieur. Lorsque le vent est violent et la dune élevée, la vitesse acquise par les grains de sables est telle que ceux-ci continuent à cheminer suivant leur trajectoire à plusieurs mètres au-dessus de l'arête et retombent en poussière de l'autre côté; la dune ressemble alors à une colline enveloppée de vapeurs. C'est ainsi que sous l'action du vent la dune progresse, se détruisant d'un côté pour se reconstituer de l'autre, restant semblable à elle-même et comme animée d'un mouvement de translation. Les dunes élémentaires ainsi formées se groupent, s'étagent et peuvent constituer des mamelons ou de petites chaînes dont les formes sont moins définies.

La succession de plusieurs dunes étagées peut constituer un massif de sable d'une grande profondeur; dans la région de Ghardaïa à El Goléa les ondulations de l'ensemble ne produisent pas une différence de niveau de plus de 6 à 8 mètres entre l'arête d'une dune et les concavités voisines; au delà d'El Goléa, il y a des colines de sable présentant des dépressions plus considérables.

L'eau du Sahara provient soit de pluies locales, soit de couches artésiennes.

Les oasis du Souf et de l'Oued Rhir possèdent de nombreux et abondants puits artésiens; des forages pratiqués dans la plaine d'El Goléa ont donné également de bons résultats. Les nappes artésiennes paraissent alimentées par les eaux qui tombent dans certaines régions des hauts plateaux.

Les autres oasis ne disposent que des pluies que recueille l'oued sur lequel elles sont établies. Dans le nord à Bou Saada, Laghouat, etc., les pluies sont assez abondantes pour que les oued coulent durant toute l'année; il suffit alors de construire un barrage en amont de l'oasis et d'amener l'eau par un canal pourvu des ramifications nécessaires pour distribuer l'eau dans les jardins. Plus au sud, les oued n'ont de cours apparent que durant la saison des pluies, le reste de l'année l'eau coule sous le sable qui recouvre le lit. Il faut alors pratiquer des puits dans la vallée pour atteindre la couche aqueuse. Dans les oasis du sud les puits dépassent souvent 30 mètres de profondeur; l'arrosage des plantations nécessite alors un travail considérable. L'étendue d'une oasis dépend généralement de la quantité d'eau que peuvent fournir ces puits pendant les années sèches et par suite de l'étendue du

bassin qui l'alimente; les oued qui ont de nombreux affluents dans les montagnes où il pleut abondamment peuvent former des réserves d'eau considérables, ceux qui sont situés exclusivement dans des régions où la pluie est rare et dont le bassin est restreint ne peuvent fournir qu'un faible débit. Il tombe en moyenne 10 millimètres d'eau par an entre Ghardaïa et El Goléa; plusieurs années se succèdent sans pluie; celle qui tombe est donc rapidement évaporée si elle demeure à la surface du sol, mais si un oued à fond de sable en reçoit une quantité abondante des ravins qui y aboutissent, le liquide pénétrant dans le sable est soustrait à l'évaporation et peut donner naissance à un cours souterrain ou s'accumuler dans une cuvette étanche. Les puits du désert sont précisément creusés dans le lit des oued ou de semblables réservoirs; la provision d'eau qu'ils peuvent débiter est donc limitée et l'on ne saurait trop attirer l'attention sur ce point. Lorsqu'on creuse un puits, on obtient fréquemment un débit abondant durant les premiers temps, car on s'adresse généralement à une nappe dans laquelle on n'a pas encore puisé; si des convois, des caravanes ou des troupeaux s'y alimentent fréquemment le niveau d'eau ne tarde pas à baisser; souvent aussi des matériaux se détachent des parois et forment un dépôt de vase qui diminue la profondeur utilisable et la vitesse de renouvellement. Lorsqu'on doit subvenir aux besoins d'un nombreux personnel ou d'importantes caravanes, il convient donc d'accueillir avec beaucoup de circonspection les indications des itinéraires.

Quelques puits anciens situés sur un bassin étendu et des pistes très fréquentées semblent inépuisables, mais présentent un autre inconvénient : leur diamètre

est généralement étroit et il est difficile d'y introduire de grands récipients ou d'en faire mouvoir deux simultanément; la profondeur est trop considérable pour qu'on puisse y utiliser des pompes simplement aspirantes ; avec les ressources ordinaires, il faut souvent deux jours pour abreuver les chameaux et remplir les outres d'une petite caravane. Nous avons dû fréquemment installer auprès de ces puits une équipe d'indigènes travaillant en permanence pour abreuver les animaux et remplir les récipients.

L'eau du Sahara est souvent magnésienne et par conséquent purgative, quelquefois saumâtre; certains puits mal entretenus contiennent des matières organiques. La conservation du liquide est alors plus difficile et il est indispensable de désinfecter les outres et tonnelets par du goudron ou une mèche soufrée.

L'espacement des puits est irrégulier; sur la première moitié de la route d'El Goléa, on en trouve à chaque gîte d'étapes; plus loin, on parcourt 50 et même 80 kilomètres sans recontrer d'eau.

Cependant les cartes indiquent un plus grand nombre de *Hassi* (puits maçonné) ou *Bir* (puits non maçonné), mais la plupart d'entre eux sont à sec; leur trace n'est conservée que comme indication de lieu. Ces indications étaient d'ailleurs très utiles aux indigènes.

En effet, le chemin de voiture n'est commencé que depuis peu, il ne s'étend que sur la moitié du parcours et disparaît dans les régions ensablées. Cependant, les pistes d'El Goléa n'ont jamais été moins fréquentées que depuis notre occupation; avant cette époque d'importantes caravanes les suivaient pour aller du M'zab au Soudan; ces pistes sont multiples, s'entrecoupent et sont quelquefois peu visibles ; pour se diriger, les

Arabes ont dénommé tous les points remarquables ; il n'existe pas un monticule, un rocher, un oued minuscule, un ravin qui n'ait son appellation; les tombeaux, les puits à sec ou pourvus d'eau, les dunes, les passages entre les dunes ont reçu un nom. Il faut bien se garder de prendre un oued pour un ruisseau, un hassi pour un point d'eau et un gîte d'étapes pour un endroit habité. En fait, à l'exception de Metlili des Chambaa, village ksourien situé à 35 kilomètres du Mzab, il n'y a entre Ghardaïa et El Goléa ni oasis, ni habitation, ni tente. Il ne faut cependant pas en conclure que le pays soit absolument inhabité; il contient des campements pendant l'hiver, mais comme les populations sont pauvres et que l'hospitalité est de rigueur en pays musulman, les indigènes de ces parcours évitent de s'établir à proximité des pistes.

Il n'y a donc pas lieu de compter tirer des ressources des pays traversés. Au delà d'El Goléa, on ne rencontre rien d'utilisable sur l'espace d'environ 300 kilomètres qui sépare ce point des oasis du Touat et d'In Salah.

Les itinéraires fournissent des indications au sujet du fourrage et du combustible qu'on peut rencontrer à proximité des pistes, mais il convient encore de faire des réserves : des renseignements très exacts au moment où ils ont été relevés peuvent avoir cessé de l'être ; cela est surtout vrai s'il s'agit d'itinéraires relevés avant notre occupation : car le passage des convois de ravitaillement, la préparation des aliments, la cuisson du plâtre et de la chaux ont pu diminuer ou détruire la réserve de combustible; les chameaux et troupeaux qui séjournent aux environs des points habités peuvent également épuiser les pâturages dans un périmètre étendu.

En résumé, on ne peut trouver dans le Sahara que l'eau, le combustible et la nourriture des chameaux et moutons, et il sera prudent de n'engager sur une piste que des effectifs tels qu'ils puissent sans se nuire se procurer ces trois choses. Tout le reste devra être tiré de la base de ravitaillement.

Entre Ghardaïa et El Goléa, la commune indigène a déjà établi trois petits bordj qui permettent à quelques officiers de passage de s'abriter sans monter de tente; deux de ces établissements sont pourvus d'un four; un petit détachement qui séjourne à côté de ces bordj peut donc y fabriquer son pain de route. Au delà d'El Goléa, il n'y a pas de constructions de ce genre : les forts Mac-Mahon, Miribel et Lallemand sont des établissements plus importants dans lesquels les troupes sont effectivement casernées et où tous les besoins d'un long séjour ont été prévus.

On se propose de pousser jusqu'à Laghouat la voie ferrée d'Alger à Berrouaghia. Pour ce motif, des travaux commencés depuis plusieurs années en vue d'établir une route de Boghari à Laghouat ont été dirigés de telle sorte qu'ils puissent servir à la plate-forme d'un chemin de fer. Actuellement la route n'est commencée que par tronçons qui sont généralement défectueux pour le roulage. Durant l'été, la viabilité est suffisante, mais, pendant la saison des pluies, les pistes détrempées se couvrent d'ornières où les voitures circulent difficilement; dans certains endroits marécageux, elles sont quelquefois complètement arrêtées; enfin, à l'entrée de Laghouat, il n'y a pas de pont pour traverser l'Oued Mzi, le gué est généralement praticable, mais, en temps de crue, il devient très dangereux.

Entre Berrouaghia et Laghouat circule une voiture publique pour la poste et les voyageurs, les marchandises sont transportées par chariots ou charrettes et même à dos de chameaux pendant la belle saison.

Les chariots, véhicules robustes, montés sur quatre roues très larges, reçoivent un chargement de 4 à 5 tonnes suivant l'état des chemins; ils sont attelés d'une dizaine de chevaux ou mulets et avancent d'environ 25 kilomètres par jour. Ils circulent généralement par groupes de quatre; dans les passages difficiles, les attelages d'une voiture doublent ceux d'une autre.

Le nombre de véhicules et d'animaux affectés aux transports du sud algérien est assez restreint; la perspective de l'établissement d'un chemin de fer, l'irrégularité du trafic et les convois de chameaux ne permettent pas à la concurrence de s'établir; d'après les renseignements recueillis au cours de la mission, il n'y aurait guère, entre Boghari et Laghouat, que vingt-quatre grands équipages et quelques charrettes attelées de deux ou trois animaux.

De Laghouat à Ghardaïa, les transports se font exclusivement à dos de chameau, à l'exception d'un convoi mensuel du train des équipages qui attelle des mulets à des prolonges. A part quelques sections aux abords de Ghardaïa qui constituent de véritables travaux d'art, le chemin est indiqué plutôt que construit; on a écarté, à droite et à gauche, les cailloux de la Hamada, nettoyant ainsi un passage et le limitant de part et d'autre; dans les endroits recouverts de végétation, on s'est contenté de mettre le feu et de borner le chemin de distance en distance par de grosses pierres. Il y a encore quelques passages difficiles, mais

les pluies étant beaucoup plus rares que dans la région nord, la circulation n'est jamais interrompue.

Cette situation de la route, du nombre de véhicules et d'animaux de trait, était mal connue au moment de la préparation du projet. L'entrepreneur de la guerre proposait d'effectuer tous les transports par voiture de Berrouaghia à Ghardaïa dans un délai assez restreint, l'importance du marché nécessitait sa mise en adjudication ; le résultat fut déplorable. Des entrepreneurs manquant de l'expérience des lieux et ne disposant pas par eux-mêmes de moyens suffisants obtinrent la totalité des lots. Ils ne surent ni sous-traiter avec les propriétaires d'équipages du sud ni s'outiller convenablement ; ils durent abandonner le marché après avoir effectué une faible fraction des transports, égaré une partie du matériel et apporté le plus grand désordre dans celui qu'ils avaient enlevé.

La conclusion d'un second marché nécessita de nouveaux délais ; l'hiver ayant été particulièrement pluvieux, la circulation fut difficile, les retards s'accumulèrent ; enfin, le nouvel entrepreneur ne put remplir que partiellement ses engagements.

Au delà de Ghardaïa, un chemin semblable à celui qui conduit de Laghouat au M'zab a été établi sur une longueur d'environ 130 kilomètres, mais il est interrompu en plusieurs points par des régions de sable dans lesquelles les voitures lourdement chargées ne pourraient pas avancer ; le tracé comporte des rampes de 24 centimètres et des pentes de 30 au maximum en se dirigeant du nord au sud ; ce chemin gravit les escarpements au moyen de lacets très courts dans lesquels les chariots ne pourraient pas tourner et où les équipages ne sauraient se développer : il n'est

donc praticable qu'aux voitures légères attelées d'un ou de deux animaux. De semblables véhicules n'existent ni au M'zab ni à Laghouat, les attelages manquent dans la région et le fourrage fait défaut, l'orge produit par les oasis mozabites suffit à peine à la consommation locale; pour utiliser des animaux de trait, il faudrait donc faire venir leur nourriture par des convois spéciaux.

Le chameau restait donc la seule ressource qu'on pouvait songer à utiliser. Cet animal est si indispensable dans le désert et son emploi présente de telles particularités qu'il convient d'en dire quelques mots.

Dans le département d'Alger, le chameau se rencontre à partir de Boghari, c'est-à-dire à l'entrée des Hauts-Plateaux; mais cette région ne lui convient qu'en été, aussi les nomades émigrent-ils à l'automne avec leurs troupeaux pour s'enfoncer dans le Sahara.

Il a besoin d'une nourriture abondante, volumineuse et variée; une petite quantité d'aliments très substantiels peut le nourrir pendant quelque temps, mais ne lui convient pas comme régime permanent. Il mange lentement par petites quantités; il ne saurait, sans souffrir, recevoir deux rations par jour comme le cheval ou se contenter comme le bœuf de paitre pendant un temps limité dans un pâturage abondant. Le régime qui lui convient consiste à brouter en marchant des plantes tantôt d'une espèce, tantôt d'une autre : Un chameau même chargé peut supporter une longue succession d'étapes, pourvu que son fardeau et son allure lui permettent de cueillir les herbes à sa convenance qu'il rencontre sur son passage.

La végétation des oued est plus abondante que celle de la hamada, les caravanes ralentissent la marche

dans ces vallées pour permettre aux animaux de manger; cependant ces pâturages ne sont pas ceux qu'ils préfèrent, car, dès qu'ils sont déchargés, ils gravissent les gours et plateaux pour y rechercher les plantes rabougries et disséminées qui poussent entre les rochers.

En hiver le chameau boit rarement, surtout si la nourriture qu'il prend est humectée par la pluie ou la rosée. En été, les arabes procurent de l'eau chaque semaine aux animaux qui ne travaillent pas : on tâche de faire boire tous les quatre ou cinq jours les bêtes de somme qui effectuent des transports. Le chameau absorbe en une seule fois une centaine de litres de liquide. Sa sobriété classique consiste dans la faculté qu'il possède, *dans certaines conditions*, de pouvoir supporter plus longtemps que les autres animaux la privation d'eau et de nourriture; lorsque ces conditions ne sont pas remplies, l'animal dépérit et meurt rapidement, car sa santé est très délicate.

Ce qui caractérise en effet le chameau c'est que tout son organisme constitue un vaste réservoir d'énergie. Un chameau sain abandonné au pâturage engraisse, ses chairs se développent, sa bosse augmente de volume, sa peau se tend et son poil prend un aspect soyeux et luisant; suivant son état initial, il faut de deux à six mois pour arriver à l'embonpoint maximum. L'animal est alors prêt à servir. Il peut, selon l'usage auquel on l'emploie, fournir un travail important en une courte période ou un effort moindre soutenu pendant une plus longue durée. Il maigrit alors, sa bosse décroît et sa peau se ride. Si on lui demande de nouveaux efforts, il est susceptible de prendre la gale, son poil se ternit, tombe en lambeaux, des maladies orga-

niques se déclarent et l'animal meurt : il meurt en travaillant après avoir trébuché deux ou trois fois sous sa charge.

A l'état d'embonpoint, le chameau peut marcher pendant plusieurs jours consécutifs sans manger ni boire ; il épuise alors rapidement ses réserves; s'il continue à se nourrir, il les dépense d'autant plus lentement que le travail auquel il est soumis est moindre et que son alimentation est plus complète. Certains animaux peuvent ainsi être utilisés durant plusieurs mois, mais il arrive toujours un moment où ils ont besoin d'un repos continu et d'une liberté complète pour réparer le désordre de leur économie.

Pour effectuer un service régulier par chameaux, il faut posséder plusieurs équipes à utiliser successivement; la fréquence du remplacement dépend du travail exigé et de l'alimentation fournie. Il convient d'ailleurs de remarquer que si l'on excepte le voisinage des villes et certains endroits absolument stériles, la nourriture du chameau ne coûte rien puisqu'il la trouve sur le sol; la garde et le tirage de l'eau constituent seules les dépenses des troupeaux au pâturage.

Le chameau n'est pas un animal intelligent susceptible de dressage comme le cheval et l'âne. Il s'habitue à supporter une épreuve comme le fait le bœuf, mais son éducation se borne là. Il est très craintif, toute nouveauté l'effraie et c'est presque par atavisme qu'il demeure en liberté dans un parcours et devient bête de somme : il suit jeune les caravanes, apprend à se mettre à genoux avec les autres et à porter comme eux un bât, puis un fardeau; lorsqu'on le charge d'objets différents de ceux qu'il porte généralement, il donne des signes d'inquiétude et souvent s'enfuit en secouant

son chargement jusqu'à ce qu'il l'ait fait tomber à terre ; il s'habitue à la longue, mais, lorsqu'on le charge, il témoigne toujours du mécontentement ou de la crainte en poussant de grands cris plaintifs et en menaçant les chameliers de sa mâchoire béante armée d'une rangée de dents énormes.

Le bât du chameau est très primitif, c'est une sorte de petit chevalet en bois placé entre le garrot et la bosse, et séparé du corps par un coussin grossier rempli de paille ; le tout est fixé par deux cordes en poil passant sous le ventre. Le chargement comprend généralement un nombre pair de colis égaux disposés symétriquement sur l'animal au moyen de liens qu'on assemble deux à deux au-dessus du bât par des clavettes. Quelquefois, on ajoute un ou plusieurs colis au-dessus des premiers. On consolide le chargement par des cordes fixées au bât ou à la sous-ventrière.

Le bât est très défectueux, le coussin est rapidement perforé et le bois blesse souvent l'animal ; il serait facile de l'approprier mieux à son usage, mais, sous sa forme actuelle, il coûte bon marché et est facile à réparer. D'ailleurs, l'indigène fuit le perfectionnement.

Les objets bien équilibrés, dont la forme épouse celle des flancs de l'animal, qui ne se déplacent pas pendant la marche, peuvent avoir un poids considérable sans occasionner une fatigue excessive. Au contraire ceux qui sont inégalement répartis à droite et à gauche ou qui exécutent des oscillations de grande amplitude pendant la marche, le gênent, usent ou déplacent le coussin, font glisser les cordes et occasionnent bientôt des blessures. La partie supérieure du dos du chameau et surtout la bosse sont d'ailleurs

très délicats et contiennent des tissus adipeux qui deviennent le siège d'abcès volumineux.

La charge que peut transporter un chameau dépend de la race, de la taille, de l'âge, du sexe et surtout de l'état d'engraissement préalable, du régime alimentaire, du temps pendant lequel on fera travailler l'animal et de la forme du chargement. Les sacs de dattes ou de grains qui sont placés verticalement dans de grandes poches suspendues aux flancs de l'animal, laissant à ses jambes et à sa tête une complète liberté, constituent le chargement par excellence : les chameaux robustes reçoivent jusqu'à 350 kilogrammes de dattes ; au contraire les madriers, montants de tente, les objets volumineux qui se déplacent à chaque pas ne peuvent atteindre qu'un poids total de 100 à 200 kilogrammes. Le chargement moyen de l'entrepreneur des subsistances est de 250 kilogrammes; les animaux faibles portent moins, mais les autres reçoivent une surcharge; tous ces objets : sacs de farine, caisses de vivres, etc., se prêtent à un chargement stable; les objets excédant 2^{m},50 de longueur sont exclus du marché. Le règlement sur la réquisition en Algérie limite à 120 kilogrammes le chargement des animaux commandés d'office.

La présence d'importants effectifs dans l'Extrême-Sud (il y avait environ 1.400 hommes à El Goléa, Inifel, Chebbaba et El Homeur) et la construction des forts Mac-Mahon et Miribel et de l'hôpital d'El-Goléa, avaient nécessité l'envoi de nombreux convois de ravitaillement, d'outillage et de matériaux. Non seulement tous les chameliers travaillant de gré à gré étaient utilisés, mais encore on avait dû recourir à la réquisition pour former certains convois. D'autre part, le concours des

Chambaa de Mellili et d'Ouargla pouvant être utile en cas d'opérations militaires, il y avait intérêt à ne pas surmener prématurément la totalité de leurs animaux.

Il résulta de cette situation que l'on ne trouva dans le cercle de Ghardaïa aucun chamelier voulant se charger de transporter le matériel télégraphique et surtout les poteaux; les dimensions de ceux-ci excédant d'ailleurs les limites réglementaires, la réquisition normale n'était pas applicable. Des recherches faites dans le cercle de Laghouat demeurèrent également sans résultat.

La situation était donc critique. On ne pouvait songer à faire cheminer au delà de Ghardaïa les voitures venant du Nord, puisqu'il était démontré que les équipages existants ne suffiraient pas à amener le matériel à Ghardaïa dans les délais voulus. Les efforts devaient donc avoir pour objet de réduire au minimum le nombre de poteaux nécessaires et de tirer le meilleur parti des chameaux.

La perspective d'une rémunération élevée ne put vaincre l'obstination des indigènes réfractaires à toute nouveauté. Ils ne voulaient tenter le transport des poteaux qu'à la condition qu'ils fussent sciés par le milieu. Il devint indispensable de leur démontrer que le transport des poteaux entiers ne présentait pas les difficultés qu'ils appréhendaient. A cet effet, on acheta deux chameaux que les surveillants chargèrent eux-mêmes; on se proposa tout d'abord de transporter les appuis sans laisser l'extrémité traîner à terre. Voici comment s'effectue le chargement et quels sont les incidents qui l'accompagnent lorsqu'on charge un chameau de poteaux pour la première fois.

Les appuis sont rangés parallèlement à 1 mètre de

distance, chacun d'eux est saisi dans un nœud coulant fermé par une corde bouclée; en le soulevant à la main et en faisant glisser le nœud à l'avant ou à l'arrière, on arrive à le placer en équilibre sur l'attache; les deux cordes sont susceptibles d'être réunies entre elles par une clavette de manière à former une sorte de dossière à appliquer sur le bât du chameau. L'animal est conduit entre les deux poteaux ainsi disposés, on le fait accroupir pour procéder au chargement. Pour arriver à cette position il se laisse d'abord tomber sur les genoux, puis sur l'arrière-train; il se relève dans l'ordre inverse; on maintient le chameau immobile pendant le chargement en liant vers le genou les deux parties d'un membre antérieur; si l'animal est ombrageux, on attache les deux membres ou on les maintient en les comprimant avec le pied. Dans ces conditions on peut soulever les poteaux, réunir les cordes, compléter l'amarrage par une seconde attache passant sur la croupe et enfin le consolider par une troisième formant sous-ventrière. On enlève alors les entraves et on fait relever la bête de somme. Dans les deux mouvements que comprend la remise sur pied les extrémités des poteaux heurtent généralement la tête ou le cou; bien qu'on ait pris soin de placer le pied de l'arbre du côté de la tête de l'animal, la partie du poteau qui dépasse le cou est encore notable; le chameau apercevant ces objets inconnus qui semblent le menacer cherche à éviter l'un d'eux en se retournant; mais son chargement tourne en même temps que lui en oscillant, tantôt s'approchant tantôt s'éloignant un peu de sa tête; il continue alors à tourner sur place; dans ce mouvement désordonné les poteaux le heurtent à la tête et aux flancs et il s'affole de plus en plus; quelquefois il

s'arrête et se met à tourner en sens inverse ou s'enfuit à toutes jambes en secouant sa charge jusqu'à ce qu'il ait rompu l'amarrage, qu'il s'arrête fatigué ou qu'il tombe exténué.

Avec quelques précautions, on peut restreindre ces évolutions, éviter les accidents et habituer le chameau à porter sa charge; il convient en particulier de soutenir l'extrémité des poteaux au moment où il se relève et si l'animal commence à tourner, les maintenir dans la direction où il tend à se porter. Si les poteaux au lieu d'être en équilibre sur la dossière chargent un peu à l'arrière et touchent terre, le gros bout est plus élevé, il dégage davantage la tête de l'animal et le frottement sur le sol de l'autre extrémité nuit au mouvement rotatoire; le chameau s'effraie beaucoup moins et le départ est plus facile; d'ailleurs la charge oscille moins et la fatigue pendant la route est diminuée. C'est pourquoi, après plusieurs expériences, on crut devoir renoncer à charger en équilibre et l'on prit la résolution de laisser traîner l'extrémité des poteaux. Au bout de quelques jours d'exercice les deux chameaux étaient devenus tout à fait calmes et effectuaient très régulièrement ce nouveau travail; on acheta alors six autres animaux avec lesquels les mêmes difficultés se reproduisirent au début, mais qui s'habituèrent de la même façon.

Cette expérience fut décisive, elle réduisit notablement les appréhensions des indigènes. Il fallut cependant s'adresser au cercle de Laghouat pour se procurer le millier de chameaux nécessaire au transport des poteaux, mais la résistance systématique était vaincue; l'amour-propre des Arabes fut piqué lorsqu'ils virent les Européens tirer du chameau un usage qu'ils avaient

déclaré impossible ; d'autre part, l'emploi de chameliers, provenant de diverses tribus ou fractions et par suite jaloux les uns des autres, contribua à exciter l'émulation. Toutes les difficultés provenant des chameaux n'étaient cependant pas terminées : une forte proportion d'animaux réquisitionnés (40 p. 100 dans certaines caravanes) dût être écartée pour faiblesse, bien que deux poteaux représentassent seulement 120 kilogrammes, plusieurs chameaux ne pouvaient se relever sous cette charge ou retombaient au bout de quelques pas ; d'autres succombèrent en route ; beaucoup furent blessés au dos, mais ces blessures doivent être imputées à la négligence des conducteurs qui ne prenaient pas la peine de refaire le chargement lorsque les cordes glissaient ou de réparer les bâts.

Le transport de poteaux de 6^m,50 constitue certainement une opération plus fatigante pour les animaux que celui d'un poids supérieur de grain ou d'objets peu encombrants ; d'autre part les chameaux embarrassés par leur charge mangent plus difficilement en marche ; pour ces motifs et d'accord avec le commandant supérieur du cercle, il fut décidé que les convois de poteaux marcheraient pendant deux jours et stationneraient le troisième pour permettre aux chameaux de pâturer. Cette mesure très prudente n'eût pas été indispensable s'il se fût agi d'animaux robustes et gras, mais tel n'était pas le cas. Toutefois les ateliers ayant dû chômer par suite du manque d'appuis à pied d'œuvre, on fit marcher certains convois sans arrêt et même en doublant quelques étapes ; on arriva ainsi à El Goléa en huit jours au lieu de quinze qu'eût comportés la marche avec arrêt, mais les chameaux étaient absolument fourbus à l'arrivée et plusieurs tombèrent sous leur charge.

En fait, l'emploi des chameaux pour le transport des poteaux n'occasionna pas les accidents qu'on redoutait; la frayeur du début fut de courte durée; à part quelques blessures légères reçues par les chameliers et la mort de plusieurs chameaux, il n'y eut rien de grave à déplorer. Six appuis seulement furent rompus pour toute la route, mais tous furent notablement usés; la réduction atteignit 60 centimètres pour quelques poteaux qui arrivèrent à El Goléa; elle fut en moyenne de 40 centimètres.

D'après les renseignements recueillis à Alger pour l'organisation de la mission, il ne semblait pas possible de se procurer sur place les travailleurs nécessaires à l'exécution de la ligne. Toutes les constructions de l'extrême-sud se sont effectuées à l'aide de la main-d'œuvre militaire : bataillons d'Afrique, compagnies de discipline, détenus, encadrés par des soldats du génie servant de premiers ouvriers. La ligne de Laghouat avait été posée dans ces conditions; l'urgence de la situation ne permettait pas d'hésiter et de rechercher si un autre procédé était possible. Un accord survenu entre le département de la guerre et l'administration des télégraphes stipula que l'autorité militaire remettrait à la mission les travailleurs dont elle pourrait disposer. Or les constructions en cours dans l'extrême-sud employaient la plus grande partie des effectifs; on put à grand' peine réunir 50 disciplinaires à Aumale et Bou-Saada et 30 condamnés aux travaux publics à Tenès, c'est-à-dire à une distance considérable de Ghardaïa. Mais tous ces hommes ne purent être utilisés sur les chantiers : il se produisit du déchet en route, par suite des maladies et des punitions; il fallait distraire du reste les cordonniers, le tailleur,

le boulanger, le boucher, les cuisiniers et le berger, etc., qui bien qu'indispensables à l'existence du détachement n'entraient pas en ligne de compte pour la production; il ne resta, en réalité qu'une moyenne de 55 hommes à utiliser sur les travaux.

11 surveillants et 8 ouvriers télégraphistes encadraient ce personnel ou étaient chargés d'opérations importantes.

Au bout de quelque temps, la vitesse de construction paraissant insuffisante pour terminer à l'époque voulue, et de nouveaux besoins s'étant manifestés (coltinage des poteaux, tirage de l'eau, approvisionnement de combustible pour la boulangerie, etc.), on recruta 10 ouvriers mineurs indigènes et un nombre variable de manœuvres, la plupart de ces derniers étaient des gens de couleur originaires du Gourara. On a été ainsi amené à comparer les avantages et les inconvénients que présentent les travailleurs appartenant à ces diverses origines.

Les surveillants et ouvriers télégraphistes ont constamment fait preuve du plus grand zèle et d'une irréprochable discipline; ces heureuses dispositions ont puissamment contribué à donner à l'ensemble de la mission l'entrain et la confiance nécessaires pour mener à bien l'entreprise, malgré les difficultés qu'elle a eu à surmonter.

Les cadres militaires, entraînés par le lieutenant Quentin, ont témoigné du plus grand dévouement; cet officier est parvenu à faire produire à l'élément militaire le rendement maximum. Grâce à son activité et à sa fermeté, il a été possible de tirer un parti relativement bon d'un élément qui est généralement médiocre

et qui convenait très peu pour le travail auquel il a été utilisé.

Un petit nombre de ces hommes présentaient les aptitudes pour le métier de terrassiers; leurs professions étaient des plus variées et l'usage de la barre à mine ne s'improvise pas; beaucoup d'ailleurs étaient faibles et se plaignaient de l'insuffisance de nourriture pour un pareil exercice; enfin cette catégorie de soldats s'intéresse rarement à son œuvre.

L'ordinaire fut amélioré avec le produit du travail, des rations supplémentaires furent distribuées et de légères primes en nature furent allouées chaque jour sur la proposition des chefs d'équipe aux militaires qui avaient produit un travail suffisant.

On peut évaluer approximativement le résultat définitif de la manière suivante. D'un détachement de 100 hommes, il convient de déduire 33 pour les cadres, les employés et les indisponibles; le reste comprend 22 bons ouvriers, 22 passables valant la moitié des précédents et 22 mauvais, ce qui revient à dire qu'il représente la valeur de 33 bons ouvriers pour 100 bouches à nourrir.

Avec les détenus, la proportion est plus faible encore, car ils sont escortés par une garde permanente de tirailleurs pour éviter les évasions. Les auxiliaires indigènes étaient des maçons ou mineurs de Laghouat ayant travaillé sur les chantiers du génie et qu'un officier a bien voulu recruter et envoyer à Ghardaïa. Ces hommes n'avaient pas la force nécessaire pour manier efficacement la barre à mine, mais ils imaginèrent de la manœuvrer à deux et obtinrent ainsi un rendement sérieux. Ils ont formé un chantier à part qui a donné des résultats très satisfaisants. Il est né-

cessaire de signaler que l'importance du service qu'ils rendaient ne leur échappait point et qu'au milieu de la ligne, ils fomentèrent un commencement de grève pour obtenir de nouveaux avantages; on a pu couper court à ces velléités, mais elles témoignent que la situation aurait pu être dangereuse si, pour effectuer un travail urgent, on n'avait disposé que d'éléments de ce genre; le contingent militaire, qui permettait à la rigueur d'achever la construction, constituait donc une garantie précieuse.

Les indigènes employés comme porteurs ou à des besognes de manœuvres étaient des gens pauvres, insuffisamment nourris et par suite peu vigoureux, mais n'ayant que de très modestes besoins; les mineurs, gens de la ville, couchaient sous une tente et préparaient quelque cuisine; les autres comprenant des chameliers, porteurs ou manœuvres d'oasis, ayant plus ou moins vécu en esclavage, couchaient sur le sol, à peine vêtus et se nourrissaient de quelques dattes et d'une poignée de farine. Avec une fermeté bienveillante, on peut obtenir beaucoup d'eux, en faisant quelque choix, et, en les dressant à une opération déterminée, on arrive à la leur faire exécuter très convenablement; ainsi un surveillant a pu faire planter des poteaux avec soin par un groupe de nègres. Pour obtenir des noirs un travail soutenu, il est nécessaire de substituer entièrement une autorité à leur initiative personnelle, c'est-à-dire qu'il faut pourvoir à leur nourriture et d'une manière générale à leurs besoins sans les laisser disposer de leur salaire pendant le cours du travail.

Les indigènes et surtout les nègres sont peu prévoyants; partant pour un mois, ils emportent les pro-

visions de huit jours, et comme il est impossible de s'en procurer en cours de route, il en résulte des difficultés de tous genres : trafic entre eux, larcins, abattage de chameaux, affaiblissement général et refus d'obéissance. Il n'est pas dans les habitudes de l'autorité militaire d'assurer la nourriture des indigènes qu'elle emploie (méharistes, chameliers, manœuvres); cela simplifie les choses si on les utilise sur place ou pendant un trajet d'une ou deux semaines. Lorsqu'il s'agit de déplacer ces gens pour une durée plus longue ou indéterminée, de leur faire suivre une colonne dont ils ne doivent pas s'écarter, de parcourir un pays qu'ils n'ont pas l'habitude de fréquenter, cela peut occasionner de véritables complications : le colonel Flatters, qui, au cours de sa première mission, avait laissé les indigènes faire leurs provisions, a reconnu ces inconvénients et, au cours de la seconde, il avait prévu leur ravitaillement et leur faisait distribuer leurs vivres. A mi-chemin d'El Goléa, les chameliers, qui effectuaient le transfert quotidien du camp du creusage et son service d'eau, n'ayant plus de nourriture, refusèrent de travailler et voulurent quitter les chantiers, abandonnant même ce qui leur était dû. C'était une véritable grève qui aurait mis ce détachement dans l'embarras, car il était éloigné des points d'eau; il fallut contraindre les chameliers à travailler et surtout leur fournir des vivres.

Pour évaluer les frais de main-d'œuvre, il faut rapprocher le produit tiré de l'unité de travailleur de son salaire augmenté des frais de transport qu'elle occasionne. D'autre part, comme il ne s'agit pas exclusivement de construire avec le minimum de dépense, mais qu'il importe d'atteindre le but sans encombre, il

faut tenir compte des conditions de sécurité de l'entreprise. L'élément le plus fidèle, fournissant le meilleur rendement, mais exigeant le salaire le plus élevé et le plus de confortable, est formé par les gens de métier (surveillants et ouvriers auxiliaires). Les mineurs indigènes se placent après eux, au point de vue de la production et coûtent moins cher; mais leur recrutement est moins certain, et il est possible qu'ils refusent de travailler à une grande distance de leur résidence. Au contraire, on pourra toujours se procurer à bon marché des manœuvres du pays; leur ravitaillement est très simple et ils n'exigent pas de campement.

Si donc, il s'agissait d'effectuer une construction du même genre dans un pays absolument sûr et avec des limites de temps un peu élastiques, la main-d'œuvre exclusivement civile serait plus commode et plus économique que les chantiers mixtes, car on pourrait éliminer toutes les bouches dont la production ne correspondrait pas aux frais de ravitaillement; on aurait d'ailleurs la faculté d'augmenter ou de diminuer la durée des vacations suivant les circonstances, de scinder ou de réunir les ateliers sans se préoccuper de règlements ou de nécessité d'organisation militaires.

Avec la troupe, les cadres, les punis et même quelques employés ne concourent pas au but proposé et les travailleurs mauvais ou médiocres doivent être conservés avec les autres; mais tous peuvent, si les circonstances l'exigent, porter l'arme sur le chantier, c'est-à-dire coopérer à la protection de l'opération; avec eux, aussi loin que s'étend la construction, il n'y a à redouter ni marchandage, ni grève, ni défection.

Les opérations furent réparties entre trois groupes de travailleurs, ayant un campement et des moyens de transport indépendants : *le tracé*, *le creusage*, et *la plantation*. Une section de ce dernier atelier posait le fil. La formation et l'isolement de ces trois chantiers résultaient des circonstances et non d'une organisation logique.

Le tracé fut commencé par un petit groupe avant l'arrivée du reste du personnel et du premier détachement militaire; le creusage fut entrepris alors qu'on manquait de moyens de transport et d'outillage pour la plantation; enfin, la pose du fil fut effectuée par le détachement de détenus qui arriva tardivement à Ghardaïa. Cet atelier marcha très mal au début alors que le creusage avait déjà acquis quelque expérience et prenait une bonne allure; l'intervalle entre ces deux chantiers atteignit 50 kilomètres.

Indépendamment de ces trois groupes, subdivisés eux-mêmes en plusieurs équipes, il y avait des services accessoires : *dépôt principal de matériel*, *transports aux dépôts secondaires*, *distribution à pied d'œuvre*.

Le dépôt principal établi à Ghardaïa était confié à un surveillant assisté d'un sous-officier et d'un indigène parlant français. Cet agent recevait le matériel venant par chariot, le réexpédiait aux dépôts secondaires, percevait aux *subsistances militaires* ou achetait chez les fournisseurs les vivres nécessaires au personnel civil, formait les convois de ravitaillement pour les agents et les détachements et se tenait en relation avec le camp de la plantation raccordé chaque soir par téléphone.

Un autre surveillant, ayant sous ses ordres plu-

sieurs indigènes parlant français, formait les convois destinés aux dépôts secondaires, se tenait en relation avec ses auxiliaires qui suivaient les caravanes et procédait à la réception à l'arrivée; il visitait fréquemment ces dépôts et inspectait la route pour éviter les pertes de matériel; cet agent était monté.

La distribution à pied d'œuvre était effectuée sous la direction d'un surveillant qui disposait des indigènes nécessaires au coltinage et d'une équipe spéciale de chameaux.

Tous ces services furent mis en communication, ainsi que les ateliers par des courriers à mehari dont la marche était réglée par un ordre.

En principe, chaque camp était déplacé tous les jours, sauf le dimanche consacré au nettoyage et au repos; l'avancement étant de 3 à 6 kilomètres, les chameaux effectuaient deux voyages; ils apportaient en outre l'eau et le pain nécessaire à chaque campement.

Le ravitaillement général était assuré par une équipe spéciale effectuant le voyage à des dates réglées à l'avance; elle fut renforcée par des convois supplémentaires lorsque la distance devint trop considérable. On tirait de Ghardaïa le vin, les légumes et les conserves; pendant quelques jours, on s'y procura la viande et le pain en nature, mais il fallut bientôt utiliser les fours des bordj et s'approvisionner en farine; des moutons achetés à Ghardaïa et amenés avec les convois de ravitaillement formèrent un troupeau qui procura de la viande fraîche au fur et à mesure des besoins.

Le parcours de Ghardaïa à El Goléa n'est pas fréquenté par les pillards; les douars ayant été rendus

responsables du matériel de l'expédition, il ne fut pas nécessaire de garder les dépôts provisoires ni d'escorter les convois; les fonctionnaires purent reconnaître le terrain à l'avant et circuler entre les divers ateliers, accompagnés seulement d'un spahis servant de guide et d'un cavalier ordonnance.

Sur les deux premiers tiers du parcours de Ghardaïa à El Goléa, le terrain est très accidenté; la route, lorsqu'elle existe, serpente au fond des ravins et passe de l'un à l'autre en traversant les plateaux. Elle franchit plusieurs lignes de gour, emprunte souvent la vallée des oued dont quelques-uns sont ensablés; le sable est uni ou amoncelé en petites dunes qu'une végétation spontanée a rendues à peu près stables. Sur la dernière partie du parcours, les ondulations du terrain sont beaucoup moins nombreuses; il existe encore des ravins, mais les plaines et les plateaux sont plus étendus. On rencontre, dans cette région, plusieurs ramifications de l'Erg à Zirara, El Baten, El Feidh. En établissant la route qui est construite sur la moitié de la distance, on a moins songé à faire une voie charretière qu'à jalonner un chemin facile aux piétons et aux cavaliers et passant par les points d'eau. Sur les sections ensablées et dans la partie non encore construite, il est très facile de s'égarer; l'aspect général du terrain et celui des lignes de gours qui se profilent à l'horizon sont tellement semblables en différents points qu'il faut un œil très exercé pour les distinguer. Les caravanes ne suivent pas toujours cette route; les pistes des chameaux sont généralement plus courtes.

Dans le tracé de la ligne, on a utilisé les accidents de terrain pour réduire au minimum la quantité de

matériel nécessaire à la construction. Les difficultés rencontrées dans les transports par voitures et par chameaux firent craindre, dès le début, le manque de matériel. Cette prévision n'était que trop justifiée; malgré tous les efforts déployés pour accélérer la marche des convois, les ateliers ne furent approvisionnés qu'au jour le jour et chômèrent plusieurs fois en attendant l'arrivée des poteaux.

Le tracé par *grands alignements* en utilisant les monticules rocheux situés au voisinage des pistes amena une triple économie; diminution de longueur de la ligne, réduction du nombre des appuis au kilomètre et du nombre des accouplements aux angles. Le piquetage par les ravins, au bord de la route, eût exigé une plantation plus serrée et la succession des détours eût multiplié les points d'angle. L'adoption de ce dernier système n'aurait pas permis de construire la ligne au printemps de 1894.

Il est regrettable qu'une pareille nécessité ait pesé aussi lourdement sur les opérations, car la ligne, qui est généralement bien construite au point de vue technique, présente pour la surveillance un défaut qu'il convient de mettre en évidence; ce défaut se rencontre d'ailleurs sur la plupart des lignes du sud algérien.

Le tracé suivant les pistes et empruntant les gours ne présente pas d'inconvénient pendant l'hiver; le parcours s'effectue, pendant le jour, à dos de chameau et cet animal peut passer partout. Pendant les fortes chaleurs, au contraire, on ne circule que le matin et le soir ou la nuit; il est donc nécessaire que le parcours soit aussi facile que possible et que l'on n'éprouve aucune difficulté pour observer le fil.

Au point de vue du creusage, le terrain rencontré se répartissait approximativement en trois quarts de roc vif, un huitième de sable et le reste en terrain ordinaire.

Le roc est du calcaire dolomitique extrêmement dur. Il était impossible de l'entamer autrement qu'à la barre à mine et même avec cet instrument on n'arrivait qu'à le pulvériser finement et non pas à le détacher par petits éclats comme cela se fait généralement. Au début, les outils s'ébréchaient très vite; après de nombreuses transformations tendant à leur donner plus de solidité et d'efficacité, on arriva à former les tranches d'un double biseau n'ayant que la largeur de la partie cylindrique, et dont les plans du taillant étaient inclinés l'un sur l'autre de 30°; cette tranche étroite et robuste n'attaquait la roche que sur une petite étendue, mais produisait un effet utile sans se détériorer aussi rapidement. De même, les pointes furent tenues très courtes afin de diminuer leur fragilité.

Ces barres à mine étaient d'ailleurs entièrement en acier et une forge portative servait à leur réparation; elle était alimentée par du charbon de bois acheté à Ghardaïa et qui arrivait par les convois de ravitaillement. La fréquence et la dureté du roc dépassant toutes les prévisions firent qu'une seule forge fut souvent insuffisante et que fréquemment les mineurs travaillèrent avec des outils défectueux, bien que les forgerons effectuassent des heures supplémentaires.

La réparation des outils dans le désert présente d'ailleurs quelques particularités. La trempe exige une provision d'eau assez considérable; si le liquide dépasse 60°, le taillant est mou et la roche le refoule. Or, il suffit de tremper deux pointes pour élever le

baquet à cette température; la rareté de l'eau conduisit à installer un refrigérent permettant de réemployer plusieurs fois le même liquide : c'était une sorte de réservoir plat formé d'une toile fixée à un solide rectangulaire supporté par des pieux à un mètre du sol; l'eau chaude versée dans cet appareil évaporatoire s'y refroidissait suffisamment.

Une autre difficulté provenait de l'abondance de lumière qui ne permettait pas de juger du moment opportun de tremper; il est plus facile d'observer les changements de coloration que subit l'acier aux diverses températures lorsqu'on opère dans un endroit peu éclairé.

Enfin, le vent qui souffla très souvent nuisit beaucoup à la chauffe et entraîna une consommation excessive de combustible. Un abri portatif eût été nécessaire pour y installer l'atelier de réparation.

Dans le roc, les trous furent forés à 80 centimètres; cette profondeur n'eût pas été indispensable si le creusage eût été effectué par des ouvriers très exercés, car il est possible d'encastrer très solidement un poteau dans une cavité cylindrique de $0^{m},60$ de profondeur; mais, avec un personnel peu habile, les fouilles peu régulières nécessitaient une plantation plus profonde.

Le creusage dans le roc fut extrêmement lent; les soldats peu robustes n'obtenaient quelquefois aucun résultat dans une journée de travail et des ouvriers habiles employaient dans certains cas deux jours pour forer un trou. Un procédé plus expéditif eût donc été désirable. On n'a pas eu recours à la poudre qu'on eût sans doute pu se procurer parce que les trous qui en résultent sont généralement évasés et que le rocher

est disloqué tout autour; ces conditions sont défectueuses pour la plantation, il eût fallu augmenter notablement la profondeur de la fouille pour obtenir une solidité suffisante, ce qui présentait l'inconvénient de diminuer la hauteur utilisable du poteau déjà réduite par le transport (*).

La plantation dans la terre ordinaire ne présenta aucune particularité. Dans le roc, les poteaux furent coincés par trois rangs de pierre disposés le premier au pied, le dernier au niveau du sol et le second à mi-distance des deux autres; une couche de terre pilonnée remplissait les intervalles; à l'extérieur, un petit mamelon de pierre et de terre était formé à la base de chaque appui pour augmenter l'emprise et pourvoir au vide résultant du tassement des matériaux.

Le sable se présenta sous deux aspects : humide ou sec. Le sable humide n'est pas mobile, le creusage et la plantation s'y effectuent comme dans le terrain ordinaire.

Lorsqu'on creuse un trou dans le sable sec, les matériaux situés sur les bords affluent constamment pour remplir la cavité, comme si l'on opérait sur de la boue très fluide; il faut agir simultanément sur une grande étendue pour parvenir à pratiquer une excavation très évasée. On a essayé sans bons résultats de protéger la fouille par une double palissade, formée de pieux entre-

(*) Au retour, M. Ziller, Inspecteur des Postes et des Télégraphes au Mans, nous a fait savoir qu'ayant rencontré, pour l'établissement d'une ligne dans la Corrèze, des rochers d'une semblable dureté, il avait utilisé la dynamite avec succès. Trois coups de mine successifs étaient généralement nécessaires; les trous de barre étaient pratiqués en chicane, c'est-à-dire légèrement inclinés sur l'axe de la fouille et suivant trois directions différentes; on bourrait avec un peu de terre et on mettait le feu avec un cordeau. Le trou obtenu dans ces conditions peut être facilement rendu cylindrique et le reste de la roche n'est pas fissuré.

lacés de brindilles et de creuser à l'intérieur d'une caisse sans fond; le sable est si ténu qu'il pénètre par les moindres fissures existant entre les planches ou dans le clayonnage. Il est probable cependant qu'un grand cylindre de tôle, pourvu d'anses pour l'enlever après la plantation, pourrait rendre des services. Le moyen qui a donné les meilleurs résultats a consisté à opérer très rapidement et à fouiller un peu au pied du poteau mis en place.

Il était nécessaire de rechercher le procédé de construction qui paraissait le plus convenable. Un examen très attentif de la disposition des dunes, de la végétation qui les recouvrait et des vestiges de celle qui y avait existé conduisit à la conclusion suivante :

Les appuis plantés dans ces régions ne sauraient être considérés comme ayant un emplacement immuable; le changement plus ou moins rapide, mais inévitable, du relief du sol amènera à modifier l'emplacement de certains d'entre eux au bout de quelques années, soit à cause de l'envahissement ou du déchaussement du pied, soit en raison de l'exhaussement du sol sous le fil. Le but à atteindre consiste donc à choisir un type d'appui et un mode de plantation qui assurent une stabilité suffisante et se prêtent à des modifications ultérieures.

Un appui complexe, comprenant par exemple des croisillons au pied, une pyramide-charpente à la base, un pilastre de maçonnerie ne présenteraient pas beaucoup plus de stabilité qu'un poteau simple en cas d'usure latérale de la dune; il serait plus coûteux à établir et surtout d'un déplacement ultérieur plus difficile. Si l'on songe à la difficulté qu'on rencontre pour placer à $1^{m},50$ le pied d'un seul poteau, on se rendra

compte qu'un appui à large base ne pourrait être planté à plus de $0^m,50$, c'est-à-dire dans la couche superficielle du sable.

La facilité d'entretien a d'ailleurs une importance capitale, car si les chantiers de construction sont puissamment outillés, les ateliers de réparation ne disposent généralement que de moyens très limités.

Pour ces motifs, il a paru prudent de se borner à planter des poteaux simples, à la manière ordinaire, avec le maximum de profondeur que le creusage permet d'atteindre.

Il peut se faire que la dune, au lieu d'être attaquée latéralement comme c'est le cas général, soit soumise à des vents irréguliers qui soufflant à la surface de l'erg enlèvent sans la faire progresser une épaisseur de sable suffisante pour compromettre la solidité d'un poteau simple; un appui à embase aurait dans ce cas des avantages, s'il se maintenait verticalement. Une expérience restait donc à faire consistant à établir, dans les régions où l'erg paraissait le plus mobile, une ligne d'essai parallèle à la ligne principale et comprenant des appuis de divers types, afin de comparer leur stabilité au bout de plusieurs années et d'en déduire des renseignements sur cette question encore peu connue. Cette expérience n'a pas été faite au cours de la construction parce qu'on manquait alors de poteaux pour alimenter les ateliers; on se proposait de l'effectuer au retour, mais le siroco, l'élévation de température, l'état de fatigue et de santé du personnel joints au mauvais état de conservation des vivres firent abréger au minimum le séjour dans l'erg.

Les approvisionnements constitués pour cette ligne comprenaient des isolateurs blindés et du fil de fer de

3 millimètres; c'est le matériel en usage dans le sud algérien. L'enveloppe de fonte des isolateurs a pour effet d'user le fil de ligne et ses attaches aux points de contact, il en résulte des parties faibles du conducteur aux points où la fatigue est maximum; il y avait donc intérêt à les éviter surtout au voisinage des longues portées.

Conformément aux règles en usage, des arrêts invariables furent effectués tous les 500 mètres en ligne droite et en terrain plan, ainsi qu'aux points remarquables en courbe ou en terrain accidenté. Sur tous les autres isolateurs, le fil devait se déplacer librement. Pour éviter la chute du conducteur sur ces appuis, tout en lui permettant de glisser, on entourait le collet de l'isolateur d'un fil de fer de 3 millimètres dont les extrémités tordues l'une sur l'autre une première fois formaient ensuite un anneau de 10 à 12 millimètres de diamètre fermé par une deuxième torsade; c'est dans cet anneau dont le plan était perpendiculaire à sa direction que passait le fil de ligne; le frottement sur l'isolateur est de la sorte complètement évité et la mobilité du fil est très suffisante.

Pour les arrêts invariables on rapporta à côté du conducteur une sorte de bride formée par un fil épousant la forme du collet et dont les extrémités étaient fixées à droite et à gauche du conducteur par des ligatures en fil galvanisé de 2 millimètres très doux (*). Dans les points où la fatigue était à redouter, la bride était formée de fil de 5 millimètres et s'appliquait à côté du conducteur sur une longueur de $0^m,40$ de part et d'autre

(*) Ce dispositif, indiqué par M. Rémond, Inspecteur des Postes et des Télégraphes à Auxerre, nous avait donné d'excellents résultats depuis plusieurs années.

de l'isolateur; trois ligatures étaient effectuées de chaque côté. Le type courant comprenait une bride courte en fil de 3 millimètres avec une seule ligature à droite et à gauche.

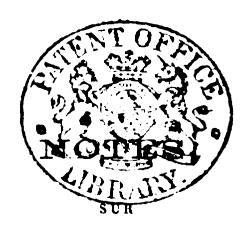
Les autres opérations relatives à la pose ont été exécutées suivant les règles ordinaires; le dérouleur développa les couronnes en valsant; il était constamment suivi par des chameaux qui portaient le fil nécessaire au travail de la journée.

La longueur de la ligne est d'environ 240 kilomètres; le piquetage a été commencé le 2 janvier, les premiers trous furent pratiqués le 20 du même mois, mais les ateliers de creusage ne furent réellement constitués qu'une semaine plus tard; la plantation et la pose du fil commencèrent le 8 février; quelques parachèvements restaient encore à effectuer, mais le 16 avril la communication fut établie avec El Goléa. A ce moment, le siroco soufflait en permanence, la température atteignait 38° à l'ombre et il était impossible de travailler pendant le milieu du jour. Il était temps d'interrompre les travaux, car le personnel mal abrité pendant les heures chaudes souffrait; il avait constamment fourni l'effort maximum qu'il pouvait produire et la limite de ses forces était atteinte. Le retour fut pénible; cependant à part quelques légères indispositions et un accident survenu à un agent par la morsure d'un scorpion, il n'y eut aucun cas grave à déplorer.

Le gracieux concours des officiers et médecins de Ghardaïa et d'El Goléa nous a aidé à procurer à notre personnel tout le confortable que les circonstances permettaient; le dévouement toujours en éveil de M. le lieutenant Quentin y a puissamment contribué. Il nous reste un devoir à remplir vis-à-vis de M. le

colonel Didier, commandant supérieur du Cercle. Sa grande expérience du pays, ses bienveillants conseils, l'appui matériel et moral qu'il nous a donné, nous ont seuls permis de triompher des difficultés qui se sont présentées. Nous sommes heureux de lui adresser ici nos respectueux remerciements.

(*A suivre.*) J. VOISENAT.



SUR

LA TÉLÉPHONIE AUX ÉTATS-UNIS

Suite (*)

POSTES CENTRAUX. — COMMUTATEURS MULTIPLES.

On connaît le principe des commutateurs multiples. Les avantages et la raison d'être de ces appareils ont été indiqués ici (**) et nous avons décrit (***) le type de beaucoup le plus répandu. On s'imagine volontiers, *a priori*, que la série des contacts successifs échelonnés sur un même fil tout le long d'un tableau, doit opposer un obstacle considérable et presque insurmontable au fonctionnement du système. Il en est autrement après qu'on a pris connaissance des résultats acquis dans la pratique journalière. Les nombres que nous avons cités, 11 dérangements relevés en treize mois dans 15.660 jacks généraux, 21 seulement relevés dans 17.380 (dont les 15.660 précédents), pendant six mois qui ont immédiatement suivi d'importants travaux exécutés au même bureau (travaux nécessairement accompagnés d'une notable poussière), prouvent que le maintien des appareils en bon état est une pure question de soin. L'expérience, en fait, a démenti les prévisions pessimistes auxquelles nous faisons allusion et montré que, dans le cas où le service des multiples

(*) Voir page 360.

(**) *Annales télégraphiques*, t. XVII, p. 529, et t. XVIII, 1891, p. 121.

(***) *Annales télégraphiques*, t. XVIII, 1891, p. 123 et seq.

était médiocre, les mesures élémentaires de propreté et les précautions les plus simples d'entretien n'avaient pas été prises.

Il est évident néanmoins que la multiplication des contacts en série sur un même fil constitue une chance de dérangements et que, parmi les dérangements, peu nombreux avec une bonne exploitation, qui viennent à se produire dans les commutateurs, une proportion très appréciable provient de défauts dans les contacts des jacks ; il est certainement mieux d'éliminer ce risque. Aussi les efforts incessants tendant au perfectionnement du système multiple ont-ils visé en particulier la suppression de ces contacts. Le type actuellement adopté pour presque tous les nouveaux bureaux un peu importants, peut-être tous, est, à de menus détails près, celui mis en service au mois de novembre 1892, à Albany, capitale de l'État de New-York : les bons effets qu'on en a obtenus l'ont consacré et l'on en compte aujourd'hui plus d'une quinzaine en fonctionnement.

Ce multiple est combiné pour circuits bifilaires, aucun doute n'existant plus maintenant chez les hommes qui ont exploité et comparé les deux genres de circuits, sur l'infériorité du circuit unifilaire (*) ; il est en outre combiné de telle sorte que le rappel du volet d'annonciateur s'y effectue sinon automatiquement comme on le dit parfois, du moins sans manœuvre spéciale de la part de l'opérateur, et simplement comme résultat de manœuvres nécessitées par ailleurs.

(*) Quelques chefs de réseaux, pour éviter la pose de deux fils par ligne et, dans certains cas, la transformation du réseau, adoptent la solution du fil de retour commun ; mais aucun, à notre connaissance, n'accorde en principe la préférence au circuit unifilaire proprement dit.

Enfin, il appartient au genre dicorde, les monocordes ayant, ainsi qu'on le prévoyait, été abandonnée jusqu'à nouvel ordre.

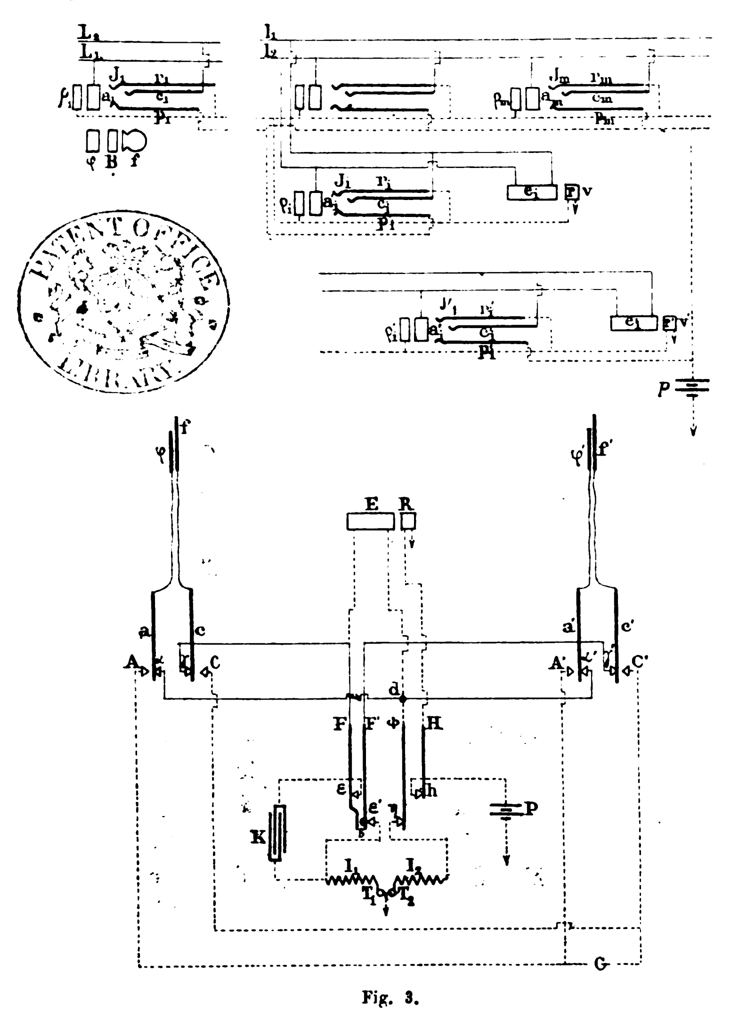


Fig. 3.

Multiple bifilaire à jacks dérivés. — Chaque jack

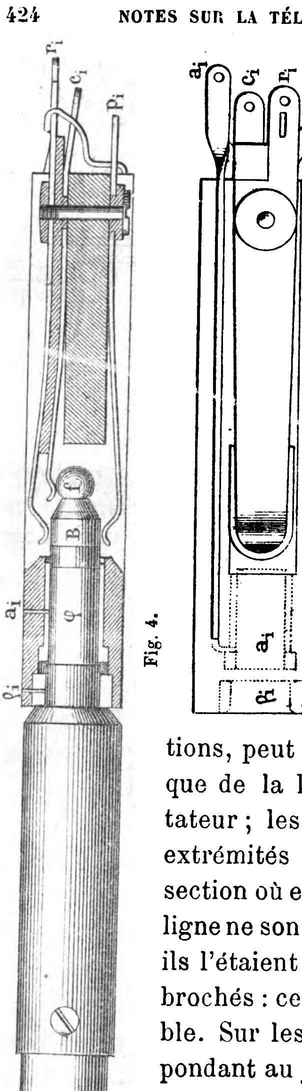


Fig. 4.

Fig. 5.

général (*fig.* 3. 4 et 5) comprend trois ressorts c_1, r_1, p_1 ..... c_m, r_m, p_m, et deux anneaux ou bagues a_1, ρ_1 ..... a_m, ρ_m, placés l'un devant l'autre.

Un fil de ligne L_1 est relié aux anneaux postérieurs a_1 ..... a_m, a_i, par autant de *dérivations*. Le second fil de ligne L_2 est raccordé de la même manière aux ressorts c_1 ..... c_m, c_i. On doit noter que le raccord du jack individuel à la ligne, étant obtenu par des dérivations, peut être fait en un point quelconque de la longueur du tableau commutateur ; les fils de retour de l'une des extrémités du commutateur jusqu'à la section où est pris le jack individuel d'une ligne ne sont donc plus nécessaires comme ils l'étaient dans le multiple à jacks embrochés : cet avantage n'est pas négligeable. Sur les dérivations de ligne correspondant au jack individuel, est lui-même placé en pont l'annonciateur individuel ou plutôt le circuit de ligne de l'annonciateur individuel, car celui-ci, nous l'allons voir dans un instant, porte deux circuits,

l'un relié à la ligne et l'autre local. Les anneaux antérieurs ρ_1 ..... ρ_m, ρ_i, sont reliés dans les jacks correspondants aux ressorts r_1 ..... r_m, r_i et ces différents groupes de deux organes sont réunis entre eux par un même fil. Enfin les ressorts p_1 ..... p_m, p_i ont également montés en dérivation sur un même conducteur aboutissant à l'un des pôles d'une pile p dont l'autre pôle est à la terre et qui sert en même temps : 1° à l'essai ; 2° au relèvement automatique du volet annonciateur.

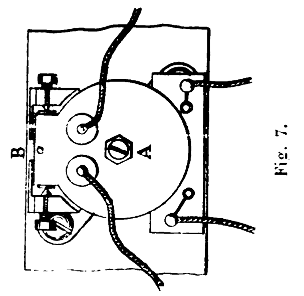


Fig. 7.

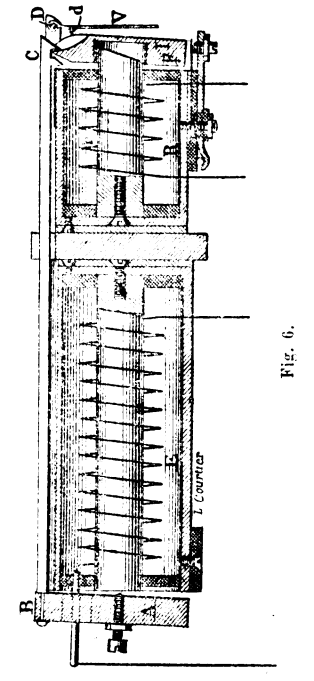


Fig. 6.

On voit dès lors que si, dans un jack quelconque J_i, le ressort r_i et le ressort p_i sont réunis en court circuit, le pôle de la pile p sera, du même coup, mis en communication avec l'ensemble des bagues ρ_1 ..... ρ_m de tous les jacks attribués à la même ligne et aussi avec tout circuit rattaché en un point au fil qui relie entre eux les groupes r_1, ρ_1 ..... r_m, ρ_m. Or le circuit local r de l'annonciateur individuel est précisément dans ce cas, aboutissant par une extrémité au fil en question et par l'autre, à la terre.

Le premier effet donne un moyen d'essayer la ligne,

le second de provoquer soit le retour au repos du volet de l'annonciateur s'il a fonctionné, soit le maintien en place lorsqu'il est déjà au repos.

L'annonciateur construit en vue de cette double destination n'est d'ailleurs que l'annonciateur tubulaire ordinaire (*), renforcé et convenablement complété. On retrouve dans ce modèle (*fig.* 6 et 7) l'électro-aimant tubulaire horizontal E avec l'armature A et le levier BC; mais le volet, ou plutôt la pièce mobile I, sur laquelle agit directement le levier, n'est autre chose que l'armature d'un petit électro-aimant supplémentaire R, beaucoup plus court que le premier, placé dans le prolongement de E, également tubulaire et qui sert à rappeler ou à maintenir I, nous allons voir comment. Devant I, au repos, se trouve abaissée (*fig.* 6 et 8) une petite plaquette d'aluminium V, formant le

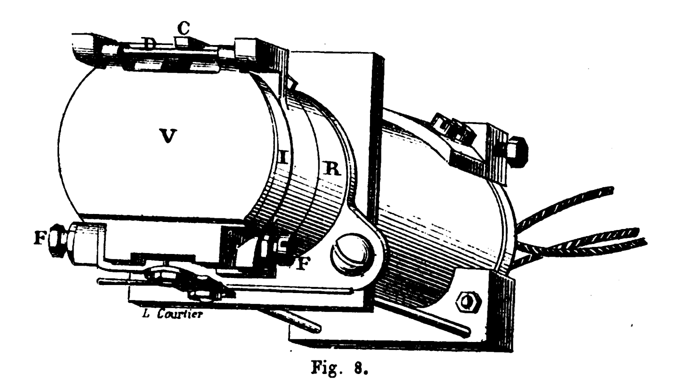


Fig. 8.

véritable volet, pouvant pivoter autour de l'axe D et repliée, suivant une étroite bande *d*, en arrière de cet axe, jusqu'à appuyer légèrement sur l'armature I; une fois libérée par le levier BC, cette armature I, assez

(*) *Annales télégraphiques*, t. XVII, 1890, p. 512.

lourde, peut tomber en tournant autour de l'axe inférieur F, mais seulement d'une petite quantité, et prend une légère inclinaison, restant presque verticale. Dans ce faible mouvement de chute, l'armature I pousse de haut en bas le talon *d* du volet V et, par suite de la petite longueur du bras du levier sur lequel elle agit ainsi, relève assez le volet pour être elle-même complètement démasquée (*fig.* 9) : les chiffres peints à

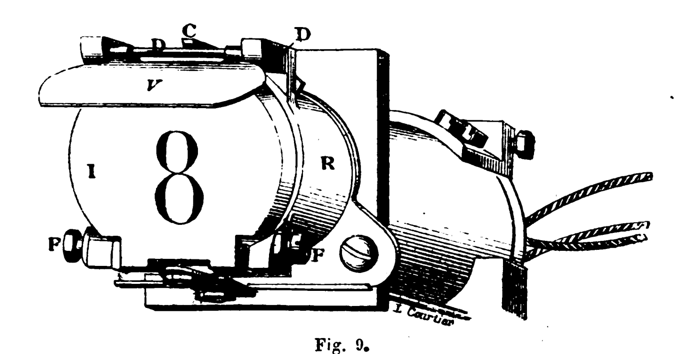


Fig. 9.

la surface apparaissent à l'employé et I remplit son rôle d'indicateur. D'autre part, aussitôt que le fil de R est parcouru par un courant suffisant (45 α), l'armature I, grâce à son peu d'éloignement du noyau de cet électro-aimant supplémentaire et à la disposition du noyau lui-même, est attirée par celui-ci et ramenée en arrière jusqu'à enclencher de nouveau avec lè bec du levier, tandis que V, retombant sous l'action de la pesanteur, masque derechef le numéro inscrit sur I : cet état subsiste aussi longtemps que passe le courant dans R, lors même que le levier BC serait soulevé transitoirement ou en permanence par quelque courant traversant E.

Les deux effets signalés plus haut se produisent donc avec une égale sûreté; pour qu'ils aient lieu, il

suffit que le court circuit dont nous avons parlé entre r_i et p_i soit établi par la fiche qui sera enfoncée dans le jack J_i. C'est l'office que remplit la bague B (*fig.* 4 et 10)

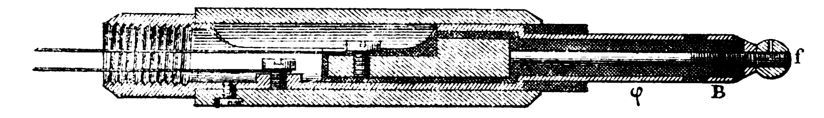


Fig. 10.

disposée à l'extrémité de la fiche entre la pointe *f* de la broche centrale qui correspond à un conducteur du cordon et le manchon φ qui correspond à l'autre, la bague B restant d'ailleurs isolée de toute autre partie de la fiche.

Quant aux autres communications établies par l'enfoncement de celle-ci, elles sont aisées à reconnaître sur les figures 1 et 4 : la pointe *f* prend communication avec c_i, c'est-à-dire L_2 et le manchon φ avec a_i, c'est-à-dire L_1. D'autre part, ce même manchon est isolé de l'anneau ρ_i par une bague d'ébonite : cet anneau, en effet, n'intervient pas comme partie intégrante dans le circuit composite formé par la liaison de deux lignes d'abonnés, le rôle des anneaux ρ_1 ..... ρ_m étant simplement de fournir un moyen de reconnaître, dans n'importe quelle section du multiple, si la ligne $L_1 L_2$ est occupée. Ceci nous conduit à examiner la disposition des cordons et des clefs.

Comme nous l'avons dit plus haut, le système appartient au genre dicorde. Nous trouvons donc (*fig.* 3), pour donner chaque communication, deux fiches $f\varphi$, $f'\varphi'$ terminant chacune un cordon ; les cordons, à l'autre extrémité, sont reliés à des clefs d'appel dont les ressorts ac, $a'c'$ appuient au repos sur les butoirs $\alpha, \gamma, \alpha', \gamma'$.

Pour appeler, l'opérateur, à l'aide d'un coin convenablement disposé, écarte les ressorts des butoirs $\alpha, \gamma, \alpha', \gamma'$, et les amène sur les butoirs A, C, A', C', communiquant avec les pôles du générateur d'électricité G. La clef d'écoute comprend quatre ressorts F, F', Φ, H qui, pendant la conversation des abonnés, sont éloignés de tous les butoirs ε, ε', η et h ; F et F' sont d'ailleurs en contact, par la saillie métallique s de F' ; F et F' communiquant respectivement avec γ et γ', φ et φ' avec α et α', et Φ étant relié en d au fil continu qui joint α et α', il en résulte que le circuit de conversation est complètement fermé.

On remarquera d'autre part sur la figure que l'annonciateur de fin de conversation E R constitué comme les annonciateurs individuels décrits ci-dessus, est, par l'électro-aimant de ligne E, en dérivation entre les deux conducteurs $\alpha\ d\ \alpha'$, γ Fs F' γ', tandis que l'électro-aimant de rappel R, à la terre par une extrémité, est isolé par l'autre qui aboutit au ressort H. Dès lors, le signal terminal émis par l'abonné, à la fin de la conversation, étant reçu dans E en actionne la palette; l'indicateur, non retenu par R, s'incline en se démasquant par le relèvement du volet. Dans le même temps, ces courants émis par les abonnés sont sans action sur leurs annonciateurs individuels puisque les fiches enfoncées dans les jacks envoient dans les électro-aimants de rappel le courant provenant de la pile p. Au signal d'achèvement de la conversation, l'opérateur ramène au repos, sur les butoirs ε, ε', η, h les quatre ressorts de la clef d'écoute et se trouve par là en communication immédiate avec les abonnés, grâce à l'introduction, en dérivation sur les deux conducteurs du circuit, de son propre poste microphonique : le circuit

secondaire du poste aboutit en effet, d'une part, au fil $\alpha\, d\, \alpha'$ par η et Φ, et d'autre part au conducteur $\gamma\,\gamma'$ par sa liaison avec la communication établie entre ε et ε' à travers le condensateur K. Il faut noter qu'en ramenant au repos la clef d'écoute et en laissant H reprendre contact avec *h*, on a provoqué le passage dans R d'un courant dû à la pile P dont un pôle aboutit à *h* tandis que l'autre est à la terre : l'indicateur est ainsi, sans manœuvre supplémentaire, ramené en arrière, masqué de nouveau par le volet qui retombe et main-

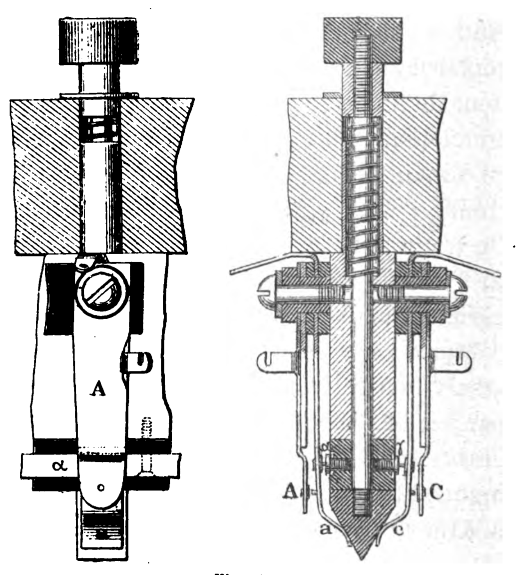


Fig. 11.

tenu dans cette situation aussi longtemps que la clef d'écoute restera au repos. — Comme le montre la *fig.* 11, qui représente une clef d'appel, la construction des clefs est très robuste.

Le mode d'essai d'une ligne rappelle beaucoup celui

employé dans le multiple à contacts embrochés, bien qu'il y ait une différence capitale dans la façon dont la pile qui doit fournir le « toc » est amenée aux bagues extérieures des jacks : on a vu qu'elle l'était non plus par l'un des fils de ligne, mais grâce à la communication existant entre les ressorts r_1, ... r_m et les bagues ρ_1 ..... ρ_m et par le court circuit établi par la bague isolée B d'une fiche entre l'un des ressorts r_1 ..... r_m et le ressort correspondant de la série p_1, ... p_m en communication constante avec la pile p. Ayant donc enfoncé la fiche $f\varphi$ dans le jack individuel de l'appelant, on viendra, la clef d'écoute étant laissée au repos, toucher avec la pointe f' la bague ρ'_m du jack général de l'appelé : si l'appelé est en train de converser, la pile p émettra un courant, à travers ρ'_m $f'\gamma'$ F' et ε', dans la moitié I_1 du circuit secondaire de la bobine microphonique et dans la moitié T_1 du téléphone, à la terre en son milieu ; il y aura un « toc ». Au cas contraire, aucun courant ne sera émis, le « toc » ne se produira pas, et l'opérateur, sachant ainsi que la ligne est libre, achèvera d'enfoncer la fiche $f'\varphi'$ dans le jack J'_m de l'appelé, sonnera ce dernier à l'aide de la clef $a'c'$ et mettra la clef d'écoute dans la position de travail, les ressorts F, F', Φ et H écartés des butoirs. Il aura ainsi établi la communication, rappelé et masqué l'indicateur de l'appelant, bloqué cet indicateur et celui de l'appelé, libéré et préparé à fournir le signal final l'indicateur R. On voit combien la disposition des clefs et surtout l'emploi de l'annonciateur à rappel électrique activent les manœuvres pour une mise en communication (*).

(*) L'automaticité du rappel jointe à la position donnée aux annonciateurs au sommet du meuble présente en outre cet avantage que, pendant le



La faculté de rappeler à distance les indicateurs entraîne une autre conséquence importante. Les annonciateurs, pouvant être mis hors de la portée de la main, ont été disposés à la partie supérieure du meuble, laissant ainsi libre, vers le bas des panneaux, un emplacement avantageusement utilisé pour des jacks. Il n'est point inutile de dire ici que les annonciateurs, ainsi reportés au sommet du meuble, y ont été disposés en gradins *fuyants* de façon à se trouver dans la même direction du regard lorsque l'opérateur lève la tête et non en gradins *saillants*, comme on a proposé parfois de le faire, ce qui oblige à renverser la tête d'une façon incommode. Pour éviter aux opérateurs de trop prêter l'oreille pour saisir le bruit peu intense occasionné par le fonctionnement d'un annonciateur (cet inconvénient semble d'ailleurs un peu illusoire), on a, dans un bureau, disposé les annonciateurs de manière à actionner de petits trembleurs, relatiment bruyants, et différant entre eux tous, en sorte que chacun éveille ainsi l'attention du seul opérateur auquel il est affecté.

RÉPARTITEURS.

Aux commutateurs que nous venons de décrire sont joints, presque sans exception, des répartiteurs étudiés à peu près à la même époque et fort bien conçus. On sait tout l'avantage de l'appel au numéro et combien

service de nuit, l'employé non seulement voit plus aisément de loin l'annonciateur qui a fonctionné, mais, n'ayant plus besoin d'aller replacer à la main le volet, peut encore établir la communication dans la section même devant laquelle il se trouve à ce moment. D'autre part, pendant le service de jour, le chef du bureau voit mieux les annonciateurs et se rend mieux compte de l'activité des téléphonistes à répondre aux appels.

le service y gagne en rapidité, en sûreté : d'un autre côté les abonnés déménagent, se transportent d'un quartier à un autre. Il y a donc là une difficulté, car si l'on veut bénéficier de l'appel au numéro, on ne doit

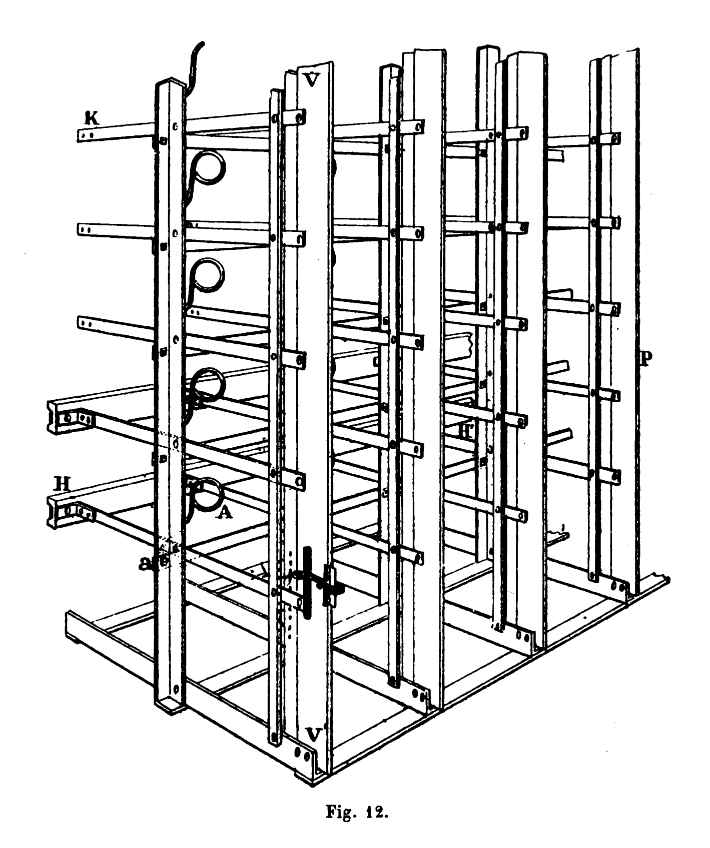


Fig. 12.

pas changer le numéro des abonnés aussi souvent que ceux-ci changent de domicile et, par suite, de ligne. Ses correspondants en effet gardant toujours le même numéro, l'abonné, dans ses demandes, risque moins de se tromper et de provoquer des appels erronés qui

ralentissent inutilement son service ; au bout de fort peu de temps, il n'a même plus l'idée d'appeler à l'aide du nom. De là l'intérêt qui s'attache aux appareils permettant d'opérer ces transferts d'une ligne extérieure à une autre tout en conservant à l'abonné son même numéro, sa même ligne de commutateur, de là aussi le grand nombre de répartiteurs combinés dans ce but et expérimentés (*). Le modèle dont nous nous occupons en ce moment semble non seulement supérieur à ceux qui l'ont précédé, mais encore réellement bon en lui-même.

Il est essentiellement constitué par un bâti (*fig.* 12) en fer plat et fer cornière dont la forme générale est celle d'un parallélipipède ; les deux grandes faces sont affectées l'une VPV′ aux lignes venant de l'extérieur, l'autre HKH′ aux lignes intérieures allant au commu-

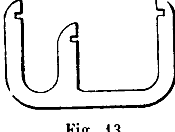


Fig. 13.

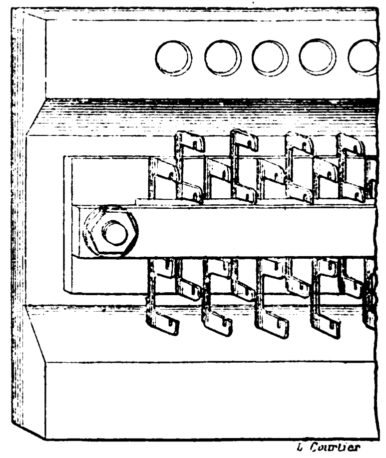


Fig. 14.

tateur : la partie médiane sert à supporter et aussi à classifier les fils raccordant les unes aux autres. Les lignes intérieures sont soudées à des lamelles en laiton (*fig.* 13) disposées par bandes horizontales sur des planchettes isolantes HH′ (*fig.* 12 et 14), tandis que les

(*) Un exemple frappant de l'utilité de l'appel au numéro s'est présenté pendant l'épidémie d'*influenza* de 1889-1890. Dans un réseau, toutes les

lignes extérieures aboutissent, le long de montants métalliques verticaux VV′ à des paratonnerres, ou pour parler exactement, à des protecteurs destinés à garantir les fils et appareils du bureau contre les coups de foudre ou les accidents résultant de contacts entre les lignes d'abonnés et les conducteurs pour éclairage, tramways électriques, etc. Fixés les uns au-dessus des autres sur les montants VV′ (*fig.* 12 et 15) et disposés par rapport à eux d'une façon presque rigoureusement symétrique, ces protecteurs comprennent (*fig.* 16) deux forts ressorts droits R_1, R_2 reliés aux fils de ligne L_1, L_2 et deux ressorts courbes F_1, F_2 reliés aux fils intérieurs B_1, B_2 du bureau allant au multiple. Entre R_1 et F_1, R_2 et F_2, la continuité du circuit est établie à l'aide

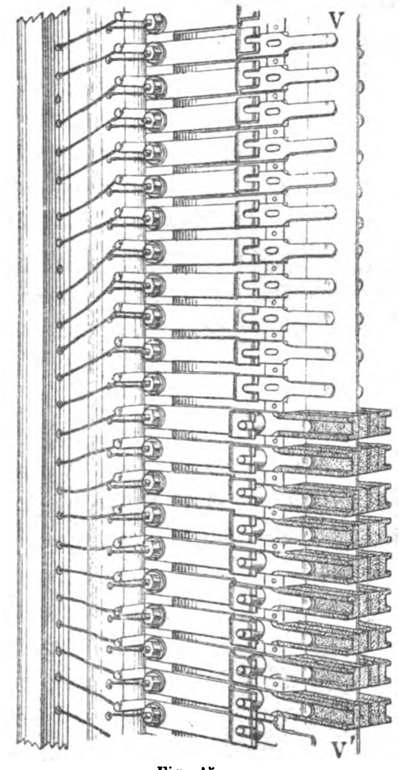


Fig. 15.

téléphonistes se trouvèrent atteintes à la fois, pendant quelques jours. On fit venir des ouvriers d'équipe et, malgré leur absence de pratique, ceux-ci assurèrent le service. Grâce à l'*appel au numéro*, on put donc, en quelques heures, mettre au courant un personnel nouveau.

d'une petite bobine de construction assez particulière ou thermo-bobine (*fig.* 16 et 17) destinée à fonctionner par

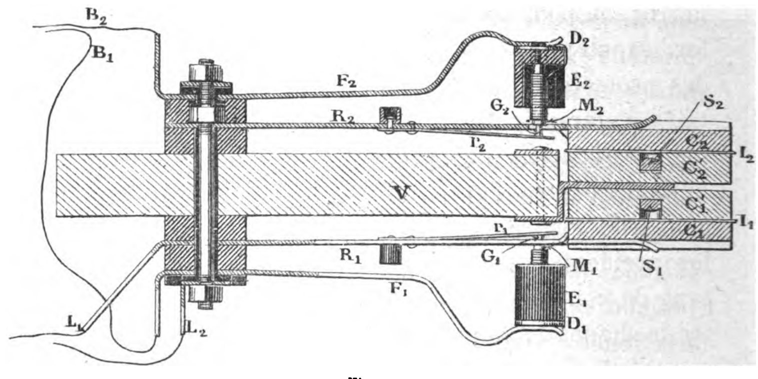


Fig. 16.

échauffement pour protéger le poste contre les courants permanents. Le noyau en est composé par une goupille de cuivre G, vissée par un bout dans le fond d'un capuchon d'ébonite E et couverte sur une partie de la longueur par un manchon M, également en cuivre, entaillé vers le milieu ; les deux pièces sont reliées l'une à l'autre et à une extrémité du fil de la bobine à l'aide d'une goutte de soudure très fusible, fixée à la goupille centrale à travers l'entaille du manchon ; la *fig.* 17 où un seul tour de fil a été représenté montre cette attache des trois pièces ensemble ; le fil fait en réalité une soixantaine de tours, puis aboutit à un disque de laiton embroché sur une saillie

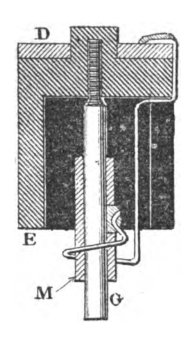




Fig. 17.

cylindrique prolongeant à l'extérieur le fond du capuchon d'ébonite; de la bobine au disque, le fil passe dans une fente longitudinale du capuchon et se trouve ainsi protégé. La fixation de la bobine entre les deux ressorts F_1 et R_1 (pour ne considérer que cette moitié du protecteur) est on ne peut plus simple; il suffit d'engager la saillie en ébonite du capuchon entre les dents d'une sorte de fourche terminant le ressort F_1, après avoir introduit l'extrémité libre de la goupille G_1 dans une petite fenêtre pratiquée dans le ressort R_1 et dont la largeur est strictement suffisante pour qu'elle y puisse passer librement; le manchon M_1 vient buter contre les bords de la fenêtre. Dès lors, le circuit L_1 se continue par le ressort R_1, le manchon M_1, le fil de la bobine, D_1, F_1 et B_1. On doit noter que, dans cette position normale, la goupille, ressortant de l'autre côté de R_1 appuie sur un ressort supplémentaire r_1, très faible, appliqué à la face interne de R_1. Dans ces conditions, si un courant suffisant traverse le fil L_1 et par suite la bobine, pendant quelques instants — l'appareil est fait pour fonctionner au bout de 30 secondes au plus avec un courant $0^a,28$ — le fil de la bobine, assez fin ($0^{mm},09$), s'échauffe et fait fondre la soudure: le manchon n'étant plus retenu sur la goupille, celle-ci obéit à l'action du ressort F_1 qui la presse, glisse dans le manchon, traverse la fenêtre où elle est engagée et par conséquent, poussant sans obstacle r_1 jusqu'au montant métallique qui est à la terre, plus exactement jusqu'à une lame de maillechort fixée le long du montant, met à la terre r_1, R_1 et le fil de ligne. Les courants de quelque intensité et tant soit peu prolongés venant de la ligne ne peuvent donc parvenir jusqu'aux appareils. Afin que les appareils à protéger ne soient

exposés à aucun danger, lorsqu'on enlève la bobine à échauffement, pour inspection, réparation, etc., une petite cale d'ébonite est montée sur le dos des ressorts R_1 et R_2 de manière que F_1 et F_2 ne viennent pas en contact avec R_1 et R_2 et qu'ainsi les fils de ligne restent isolés des appareils quand la thermo-bobine n'est pas en place. Nous ferons observer incidemment, et la figure le montre d'ailleurs, que les quatre ressorts F_1, R_1, R_2, F_2 sont maintenus sur le montant par un seul et même boulon, isolé de F_1, R_1, et F_2 comme ces ressorts sont isolés entre eux, mais communiquant avec R_2 et une petite équerre à laquelle est soudé le second fil de ligne L_2.

Le dispositif précédent ne garantirait pas le poste contre les étincelles provenant de coups de foudre, d'extra-courants résultant de mélanges, etc. Aussi le protecteur a-t-il été, sur les deux fils de ligne, muni d'organes additionnels formant paratonnerres. On sait les excellents résultats obtenus un peu de tous côtés, pour la protection des appareils, avec les paratonnerres à lame d'air : ce sont actuellement les plus sensibles qu'on possède et les plus avantageux lorsqu'il s'agit surtout de préserver des appareils. Les paratonnerres employés ici appartiennent à cette catégorie. Deux prismes de charbon CC' (*fig.* 16 et 18) sont placés face à face, séparés par une lame de mica I échancrée sur un côté; l'un prend contact avec une plaque de maillechort fixée au montant, c'est-à-dire en communication avec la terre; l'autre présente une rainure sur le dessus et est pressé vers le premier par une languette terminant chaque ressort R_1, R_2 et engagée dans

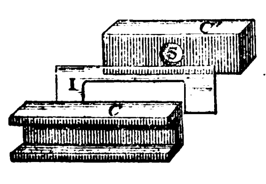


Fig. 18.

la rainure. L'épaisseur du mica est choisie de façon qu'une étincelle éclate entre les deux plaques pour une différence instantanée de potentiel de 350 volts. L'échancrure de la lame de mica est naturellement tournée vers le bas, de façon à laisser tomber les poussières qui viendraient à se produire entre les deux prismes de charbon. Enfin une dernière précaution a été prise pour le cas où une première étincelle serait suivie de la formation d'un arc : dans le prisme en contact avec la plaque de terre et à l'opposé de celle-ci est pratiquée une petite cavité au fond de laquelle on a coulé de l'alliage très fusible. Si un arc se produit, le charbon s'échauffe légèrement, l'alliage fond et, coulant jusqu'à l'autre prisme, met en court circuit les deux charbons ; la faible distance de ceux-ci empêche l'écoulement de l'alliage entre les deux plaques. Les dispositions adoptées rendent, on le voit, extrêmement facile et rapide le remplacement des bobines ou des paratonnerres, s'ils viennent à être mis hors de service (*).

Quant au raccord entre les fils extérieurs et les fils du bureau, il se fait à l'aide de fils isolés soudés d'une part aux queues des ressorts de protecteurs, de l'autre à l'une des branches libres des lamelles de laiton. Ces fils de raccord sont amenés (*fig.* 12) du montant vertical à l'anneau A disposé, à peu près dans le plan du montant, légèrement au-dessus de la réglette horizontale H H′ à laquelle ils doivent aboutir et de là redescendent, en

(*) Bien construits et judicieusement employés, les paratonnerres à lame d'air ne donnent que fort peu de mises accidentelles à la terre ; lors même que cet inconvénient se produirait un peu fréquemment, comme on cherche surtout, dans les bureaux téléphoniques, à protéger les appareils, il ne serait que secondaire ; nous croyons cependant intéressant de mentionner que, dans un poste muni de 10.000 des paratonnerres ci-dessus, on ne compte qu'une mise à la terre en moyenne par jour.

nappe doucement inclinée et étalée sur la longueur de HH′, vers cette réglette elle-même.

La dernière branche libre des lamelles de laiton permet d'amener les conducteurs, en dérivation, sur un *répartiteur secondaire* ou *répartiteur d'appels*. La raison d'être des répartiteurs de lignes est la nécessité de conserver aux abonnés leur numéro quels que soient leurs changements de domicile, et ceci concerne exclusivement le numérotage des jacks généraux sur lesquels l'opérateur doit prendre la communication avec un abonné demandé. Mais les jacks individuels sur lesquels il reçoit la demande peuvent porter un numéro quelconque pourvu que l'annonciateur individuel porte le même, l'opérateur connaissant toujours, par l'annonciateur, l'abonné qui vient d'appeler. Les jacks et les annonciateurs individuels ne sont donc pas affectés nécessairement à la section où les placerait l'ordre naturel des nombres d'après le numérotage, sur les jacks généraux, de la ligne à laquelle ils correspondent : et comme il y a lieu, dans l'immense majorité des cas, d'égaliser, autant que possible, le service entre les diverses sections ou même les divers opérateurs, on se réserve la faculté de transporter d'une section devenue trop chargée, à une autre section recevant relativement peu d'appels, les jack et annonciateur individuels d'un abonné émettant de fréquentes demandes (*). Les répartiteurs d'appels

(*) Les économies réalisées à l'aide d'une répartition correcte des appels sont parfois considérables. Nous pourrions citer un bureau où, après étude du nombre et de la répartition des appels, il a été reconnu possible de faire, par rapport aux prévisions premières (il s'agissait de remanier complètement le bureau), une réduction de 30 p. 100 sur le coût d'établissement du commutateur et une économie de 30 à 33 p. 100 sur les frais *annuels* de personnel manipulant. La longueur du multiple a pu, d'ailleurs être réduite d'un tiers. On voit l'importance que présentent les statistiques d'appels.

répondent à cette préoccupation, étant composés, comme ceux de lignes, de deux séries d'attaches réunies entre elles par des fils de secours permutables suivant les besoins, et affectées aux deux genres de conducteurs à relier; l'une reçoit les fils allant aux jacks et aux annonciateurs individuels, l'autre les fils venant des lignes. Ce sont ces derniers qui partent, sur la troisième branche des lamelles en laiton, vers le répartiteur d'appels : cette branche représente, par exemple, la dérivation l_1 (*fig.* 3) vers le jack et l'annonciateur individuels, du fil de ligne L_1 aboutissant à la lamelle. Les répartiteurs d'appel généralement annexés aux répartiteurs de lignes ci-dessus décrits sont construits d'une manière tout à fait analogue : les montants verticaux antérieurs, non munis cette fois de protecteurs, sont attribués aux dérivations de lignes dont nous venons de parler; les réglettes horizontales postérieures sont raccordées, lors du montage, aux jacks et annonciateurs individuels : on peut ainsi, à l'aide de fils de secours, renvoyer une ligne, pour les appels, sur un jack et un annonciateur individuels quelconques. Cette disposition, offrant de grandes facilités de maniement n'est possible que si l'on dispose d'une certaine place, car le répartiteur d'appels constitué de la sorte est un peu encombrant. De plus il exige, entre le point de dérivation (l_1) et le jack individuel, une longueur supplémentaire de fil qui peut n'être pas négligeable. Ceci est sans grande influence lorsque les deux répartiteurs sont établis dans de bonnes conditions, c'est-à-dire à proximité du multiple; mais lorsqu'on est contraint de les en éloigner, ces fils supplémentaires, soit par le prix qu'ils coûtent, soit par la capacité qu'ils ajoutent à la ligne, introduisent dans l'installation un élément peu

avantageux. Il semble, en pareil cas, préférable de s'en tenir au répartiteur d'appels précédemment en usage, formé d'un panneau vertical, disposé en arrière du multiple, au bas et dans toute la longueur du meuble et muni de deux séries de languettes, l'une inférieure, l'autre supérieure, traversant le panneau. Les dérivations des lignes sont amenées à l'arrière du panneau sur les languettes supérieures, les fils de jacks et annonciateurs individuels à l'arrière des languettes inférieures : les fils de secours sont menés des unes aux autres en avant du panneau.

EMPLOI DES ACCUMULATEURS.

Une disposition caractéristique, dans les nouvelles installations, introduite d'ailleurs également, au cours de ces trois ou quatre dernières années, dans des bureaux déjà anciens, est celle qui consiste à substituer des accumulateurs aux piles pour les microphones, l'essai, et le rappel électrique des volets d'annonciateurs, s'il existe ; lorsque l'immeuble est branché sur un réseau de distribution, la charge des accumulateurs est facile. On sait l'inconvénient qui se présente lorsqu'on tente d'alimenter les circuits primaires de plusieurs transmetteurs avec une même pile ; les postes s'entendent les uns les autres. Ceci n'a rien qui doive surprendre et montre simplement une fois de plus que, pour desservir plusieurs circuits à l'aide d'un même générateur d'électricité sans que les émissions faites sur un circuit influencent les transmissions effectuées sur les autres, il faut que la résistance intérieure du générateur soit nulle. En pratique, les accumulateurs, avec la résistance intérieure extrêmement faible dont ils sont

doués lorsqu'ils sont convenablement choisis, donnent une solution complète, au moins pour les besoins ac-

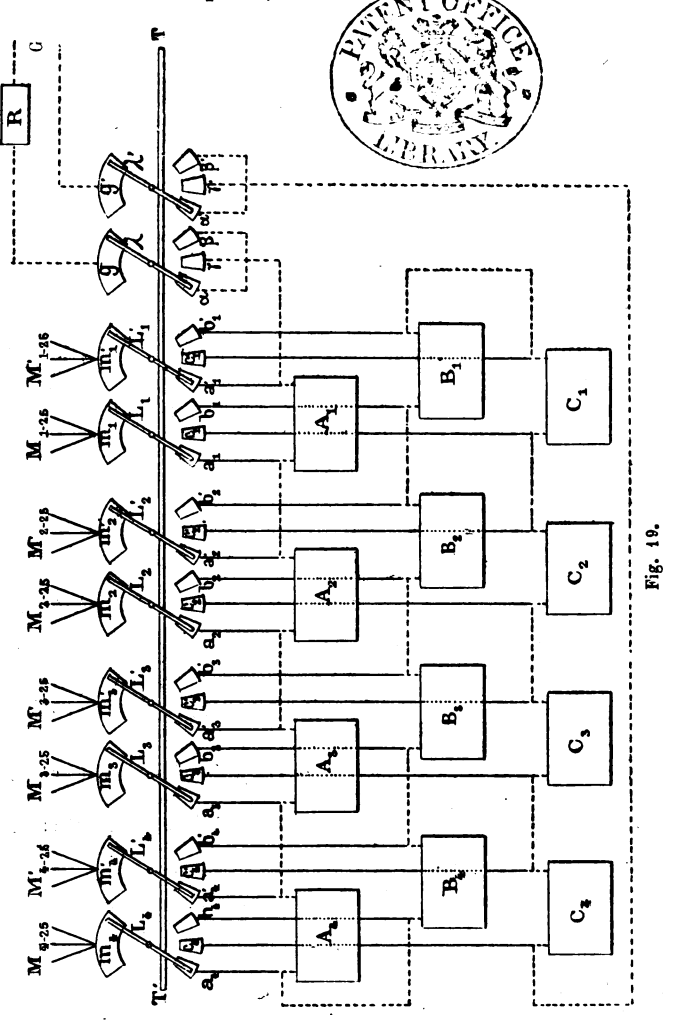


Fig. 19.

tuels. C'est ainsi qu'on arrive, à l'aide de quatre accumulateurs seulement, de $0^{\omega},01$ de résistance intérieure,

à fournir le courant nécessaire à 100 postes d'opérateurs : si l'on compte en outre quatre accumulateurs en charge et quatre tout chargés formant secours en cas d'accident à la batterie en service, on voit que 12 accumulateurs en tout suffisent là où il aurait fallu, dans le cas le plus favorable, au moins 100 éléments. Encore l'expérience a-t-elle montré que le jeu de secours était inutile, en sorte que 8 éléments suffisent, et nous n'avons vu qu'un seul poste possédant les trois séries ; elles avaient été établies au moment de l'essai et l'installation a été ensuite laissée telle quelle. La *fig.* 19 indique comment celle-ci est disposée. Un groupe A est représenté en service, un, B par exemple, est en charge, le troisième C en réserve :

A_1, A_2, A_3, A_4, accumulateurs (1er groupe).
B_1, B_2, B_3, B_4, — (2e groupe).
C_1, C_2, C_3, C_4, — (3e groupe).

C générateur.

g, g' secteurs en cuivre communiquant avec les pôles du générateur.

$m_1, m'_1, m_2, m'_2, m_3, m'_3, m_4, m'_4$, secteurs en cuivre à chacun desquels aboutissent les fils de 25 microphones, m_1 correspondant à un côté des 25 microphones formant un premier groupe, m'_1 à l'autre côté et ainsi de suite.

α, γ, β secteurs en cuivre reliés entre eux et à l'un des conducteurs de charge.

α', γ', β' secteurs en cuivre reliés entre eux et à l'autre conducteur de charge.

a_1, a'_1 secteurs en cuivre reliés aux pôles de l'accumulateur A_1.

a_2, a'_2 secteurs en cuivre reliés aux pôles de l'accumulateur A_2.

.
.
.
.

b_1, b'_1 secteurs en cuivre reliés aux pôles de l'accumulateur B_1.

.
.
.
.

c_1, c'_1 secteurs en cuivre reliés aux pôles de l'accumulateur C_1.

---- Circuits de charge;
—— Circuits de décharge;

M_{1-25} } fils des 25 microphones formant un premier groupe et desservis
M'_{1-25} } par les accumulateurs A_1, B_1 ou C_1 suivant le cas.
M_{2-25} } fils des 25 microphones formant un second groupe et desservis
M'_{2-25} } par les accumulateurs A_2, B_2 ou C_2 suivant le cas.
.
.
.
.
.

L_1, L'_1 leviers commutateurs établissant la communication entre A_1, B_2 ou C_1 d'une part, m_1, m'_1 d'autre part.
.
.
.
.
.

λ, λ' leviers donnant la communication entre le générateur et les conducteurs de charge.

Tous les leviers sont reliés entre eux par une tige de manœuvre commune TT′ qui permet de les reporter simultanément sur l'un quelconque des groupes. Tous les accumulateurs, y compris ceux en service, peuvent, comme le montre la figure, rester sur le circuit de charge : en prévision du cas où les variations du courant de charge amené directement se feraient entendre dans les postes de service, on peut embrocher sur le circuit de charge une bobine retardatrice; mais cela n'est pas nécessaire si l'on dispose, pour effectuer la charge, d'un générateur convenable (*). Les réseaux de distribution n'étant jamais dans les conditions voulues pour charger le petit nombre d'accumulateurs destinés à desservir le multiple, on fait usage de machines dynamo-électriques spéciales, désignées sous le nom de

(*) La bobine garantit cependant aussi contre la mise du générateur en court circuit à travers l'ensemble des accumulateurs.

moteurs-générateurs (*), placées entre le circuit de distribution et les accumulateurs. Ce sont de simples petites dynamos dont l'armature mobile porte deux enroulements, l'un recevant le courant de distribution et fonctionnant comme enroulement moteur, l'autre formant enroulement générateur et relié aux accumulateurs; on peut utiliser naturellement un moteur et un générateur séparés, mais c'est une combinaison plus encombrante et, à moins qu'on ne possède déjà les machines, plus coûteuse. L'enroulement générateur est choisi d'après la force électromotrice et l'intensité du courant nécessaire à la charge, suivant le nombre, par exemple, des accumulateurs qu'on veut charger en série. L'emploi de ces transformateurs rotatifs et des accumulateurs permet d'arriver à des installations remarquablement réduites et faciles à entretenir. C'est ainsi que pour 50 postes d'opérateurs, on a sur une table occupant 3 mètres carrés à peu près, munie de deux tablettes, plus d'espace qu'il n'en faut pour les quatre accumulateurs (deux en service, deux en charge) le moteur-générateur correspondant et un autre de rechange; il reste encore la place nécessaire pour deux accumulateurs et deux moteurs-générateurs, dont un de rechange, destinés à l'essai et au rappel électrique : voici, pour fixer les idées, les données relatives à un moteur-générateur transformant un courant continu de 110 volts en un courant continu à 6 volts et 30 ampères :

(*) Dans ces derniers temps, on a substitué à ce terme fort bien choisi puisqu'il exprime sans périphrase et très clairement les deux fonctions remplies par l'appareil, le nom de Dynamoteur. Cette innovation nous semble malheureuse; ce mot nouveau étant loin de pouvoir se passer de définition; il nous paraîtrait fâcheux d'abandonner l'expression très claire introduite précédemment dans le service téléphonique.

Longueur	$0^m,47$
Largeur	$0^m,26$
Hauteur	$0^m,33$
Nombre de révolutions par minute. . . .	1.700
Poids.	55^{kg}.

On vient de voir que, dans le montage figuré ci-dessus (*fig.* 19), les fils appartenant aux circuits primaires des microphones partent *individuellement*, isolément les uns des autres, *des secteurs en cuivre* m_1, m'_1, m_2 . . . Ceci est absolument indispensable pour que les postes ne s'entendent pas réciproquement ; il serait inutile de prendre des accumulateurs de très faible résistance intérieure si une résistance devait être intercallée entre eux et le point où se feraient les dérivations aux divers microphones : même avec des conducteurs d'alimentation constitués par du fil de cuivre de 5 millimètres et longs seulement de 15 mètres, c'est-à-dire ayant, aller et retour, environ $0^\omega,02$ de résistance, on constate un peu de mélange entre les transmissions. Au contraire, si, n'ayant besoin que d'un accumulateur et voulant se donner plus d'aises pour les attaches, on en relie les pôles à des barres de cuivre de 2 à 3 mètres de long, mais ayant 2 centimètres carrés de section (résistance d'un bout à l'autre inférieure à 300 microhms), on peut faire partir de *ces barres mêmes* des fils de cuivre de $1^{mm},5$ ou 2 millimètres, recouverts d'un isolant et les mener à des microphones situés à 30 mètres des accumulateurs, *sans percevoir aucun mélange :* c'est là un résultat de la pratique journalière. Nous croyons nécessaire d'attirer l'attention sur cette condition.

SYSTÈME LAW.

Dans les bureaux de création récente, les appareils ci-dessus décrits figurent généralement tous; c'est pourquoi nous les avons groupés en un examen d'ensemble. Il y a lieu cependant de revenir un instant aux commutateurs et de mentionner le système actuellement en service à Philadelphie. Dès le début de la téléphonie, la compagnie Law, créée d'abord pour exploiter des bureaux centraux télégraphiques où aboutissaient et pouvaient être reliées entre elles des lignes louées à des particuliers, fut naturellement entraînée à installer des bureaux centraux téléphoniques. M. Frank Shaw, ingénieur de la compagnie, combina un système qui fut bientôt connu sous le nom de système Law et eut d'assez nombreux partisans. Dans le système de la compagnie Law, aucun annonciateur ni organe analogue n'existe au poste central, aucune pile d'appel ni magnéto chez les abonnés : les appels se font verbalement et à l'aide d'un circuit spécial dit *circuit d'appel* aboutissant, au poste central, au téléphone que l'opérateur tient constamment à l'oreille. Tout en conservant chacun, *pour la conversation*, une ligne privée, personnelle, les abonnés sont groupés en nombre considérable, jusqu'à cent et davantage, sur ce circuit. Jusqu'à ces dernières années, le système n'avait comporté que des lignes unifilaires; il a été, en 1891, à Philadelphie, appliqué pour la première fois à des lignes bifilaires et c'est ce qui donne un intérêt particulier au réseau de cette ville.

Les microphones d'abonnés comportent, comme ceux desservis précédemment par lignes unifilaires,

un commutateur permettant de les mettre en communication avec le circuit d'appel ou de les laisser sur le

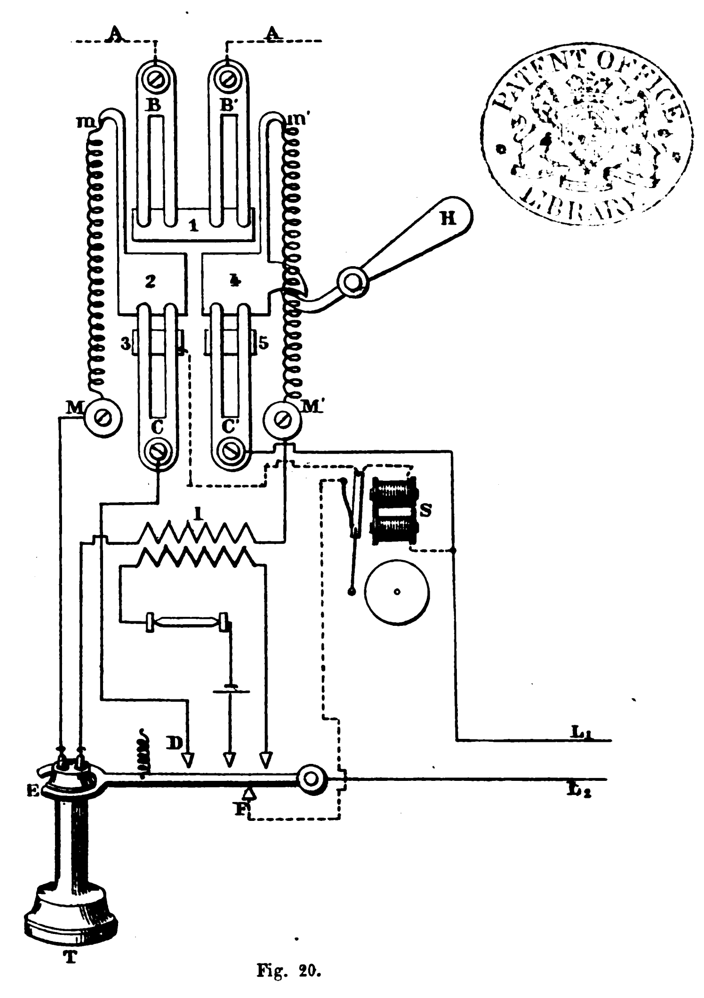


Fig. 20.

circuit de conversation. Le commutateur est formé, en principe, de cinq plaques métalliques 1, 2, 3, 4, 5 (*fig.* 20), fixées sur un bloc d'ébonite sollicité cons-

tamment vers une certaine position de repos par des ressorts M*m*, M′*m*′, mais pouvant en être écarté, être

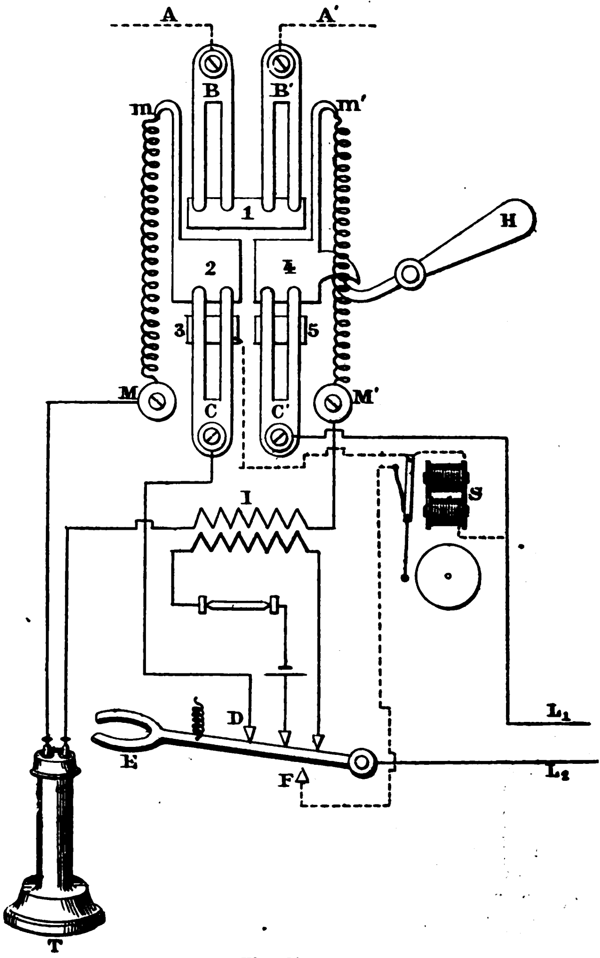


Fig. 21.

soulevé, par exemple, à l'aide d'une poignée H : or, dans la position du repos, la plaque 1 relie électriquement deux ressorts B et B′ auxquels sont rattachés respec-

tivement les deux fils par lesquels le circuit d'appel est amené chez l'abonné ; d'autre part, deux ressorts C et

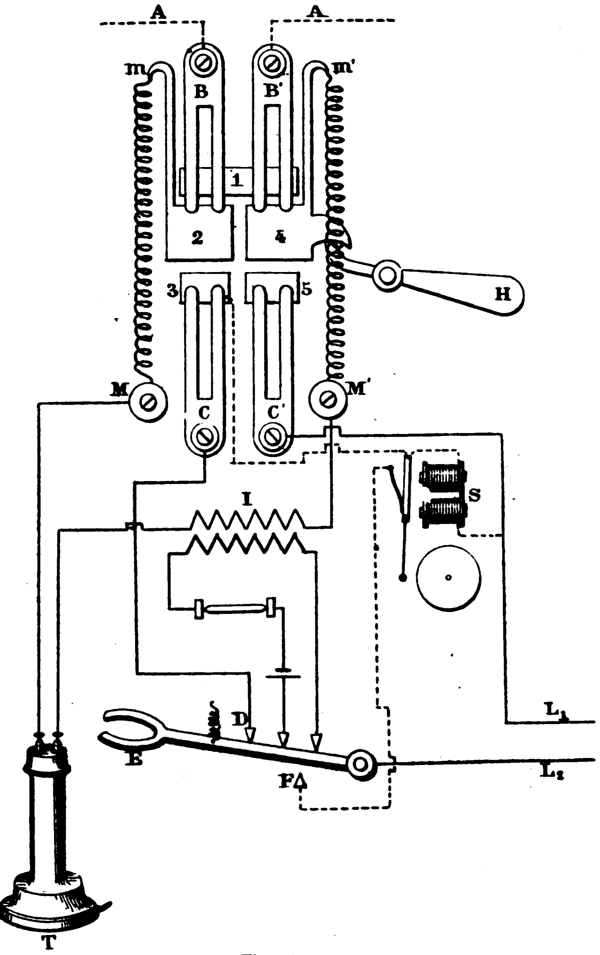


Fig. 22.

C', appuyant sur les plaques 2 et 4 sont en communication, C' avec le fil L_1 de la ligne de conversation et C avec le butoir D du levier commutateur ;

et comme les plaques 2 et 4 sont réunies par les ressorts M*m*, M'*m'* aux extrémités M et M' du circuit secondaire du microphone, il en résulte (*fig.* 21) qu'en enlevant seulement le téléphone du levier E, auquel aboutit le second fil de ligne L_2, on met le poste, à travers M*m*, 2, C, D et E d'une part, M'*m'*, 4 et C' d'autre part, en communication avec les deux fils de ligne. Pour le porter sur le circuit d'appel (*fig.* 22), il suffit d'appuyer sur la poignée H : on relève ainsi le

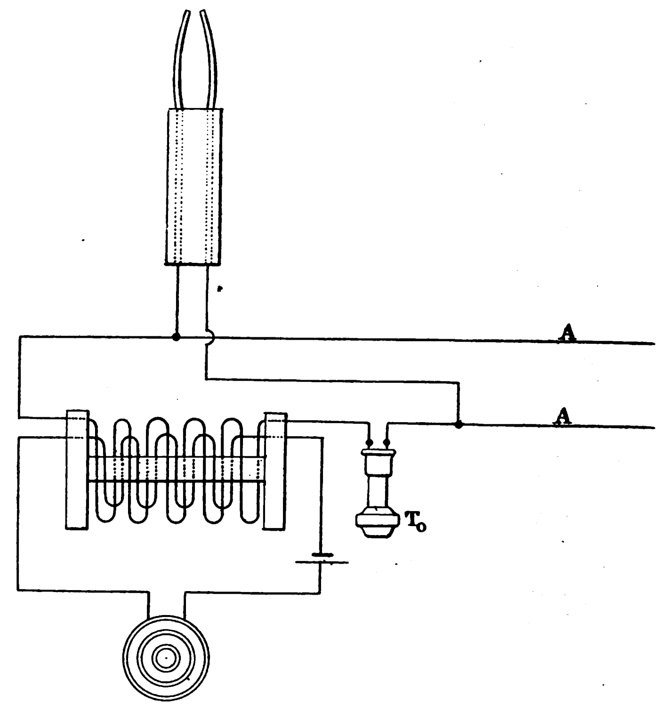


Fig. 23.

bloc des lames et l'on amène 2 et 4 sous les ressorts B et B', intercalant ainsi le poste entre eux deux, c'est-

à-dire l'embrochant dans le circuit d'appel. L'abonné donne alors le numéro de l'abonné qu'il demande et aussi le sien propre, nous allons voir dans un instant pourquoi, puis, après avoir reçu du poste central un signal convenu, abandonne la poignée H et rentre de cette manière sur le circuit de conversation. L'abonné, si son correspondant est libre, entre alors en communication avec lui.

Au poste central, les avis du demandeur sont reçus par l'opérateur à l'aide du téléphone T_0 (*fig.* 23) embroché dans le circuit d'appel. D'autre part, la ligne d'abonné L_1 L_2, aboutit en dérivation à une série de jacks généraux J_1, J_2 ..... J_n de forme rectangulaire et constitués chacun par deux lames de laiton ou de maillechort a_1, c_1 ..... a_n, c_n encastrées dans des plaquettes d'ébonite (*fig.* 24 et 25); celles-ci comprenant 10 jacks semblables et, placées verticalement, sont assemblées également par 10, présentant ainsi des carrés de 100 jacks généraux : un certain nombre de ces carrés sont disposés côte à côte, de manière à constituer une longue table sur les deux grands côtés de laquelle se rangent les téléphonistes. Parallèlement à ces côtés, l'ensemble des carrés est divisé (*fig.* 26 et 27) en deux bandes GG'KK', NN'OO' entre lesquelles apparaissent les fiches équivalentes à des jacks individuels, le système étant monocorde : chacune des fiches termine d'ailleurs un cordon qui renferme deux conducteurs soudés par l'autre bout à des masses métalliques munies de ressorts et le cordon ainsi lesté pend à l'intérieur d'un tube rectangulaire formé simplement à l'aide de deux lames de laiton étirées en U ; les fils de ligne aboutissent aux deux lames comme à celles des jacks généraux; les ressorts frottant contre les lames en U

et la fiche étant constituée par deux ressorts correspondant aux deux conducteurs, la communication reste constante entre la fiche et la ligne quelle que soit la longueur dont on tire le cordon, pourvu que le bas en

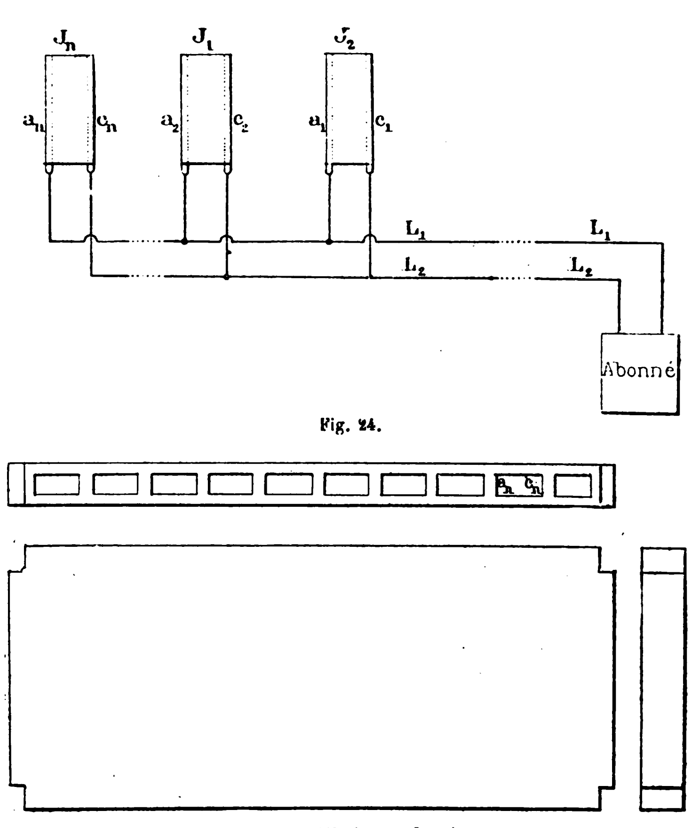


Fig. 24.

Fig. 25. (Vraie grandeur.)

reste dans le tube rectangulaire. Dès lors, pour réunir le demandeur et le demandé, l'opérateur auquel le premier a donné son numéro n'aura qu'à saisir la fiche du demandeur et à venir la piquer, la pointe en bas,

dans le jack général de l'appelé. Il est bien entendu que les abonnés dont les circuits d'appel arrivent au poste d'un opérateur déterminé, sont ceux dont il a les fiches en face de lui.

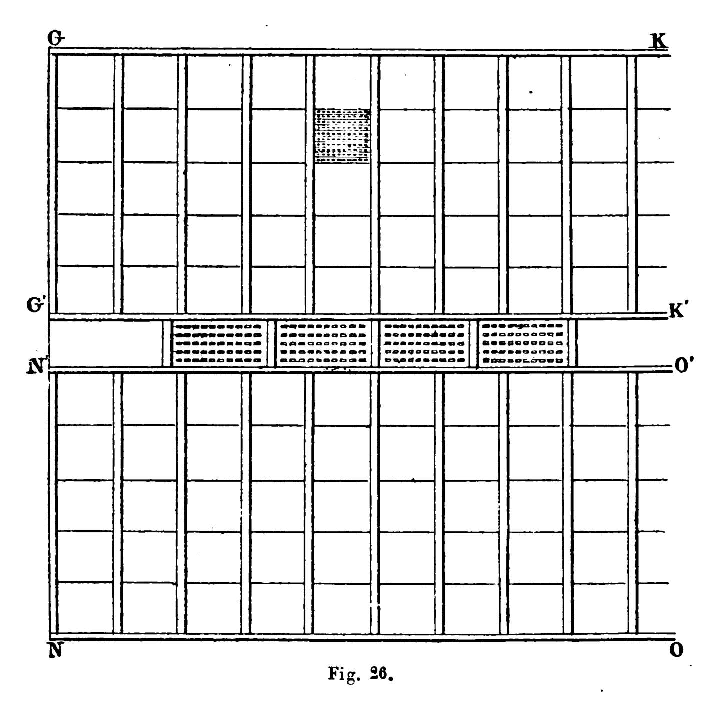


Fig. 26.

Mais, comme dans le système ordinaire, il est nécessaire que l'opérateur, avant d'établir une communication, s'assure que la ligne de l'abonné demandé est libre et, s'il n'en est pas ainsi, en prévienne le demandeur. A cet effet l'opérateur est muni d'une fiche d'essai *f* φ (*fig.* 28); entre les conducteurs du cordon sont insérés une pile d'essai *p* et un parleur R, de sorte que, si l'on réunit *f* et φ à travers l'armature d'une sonnerie montée en trembleuse, le parleur, en même

temps que la sonnerie, fonctionnera lui-même en trembleur sous l'influence de la pile p, tandis que, si f et φ sont réunis par un circuit continu, l'armature du par-

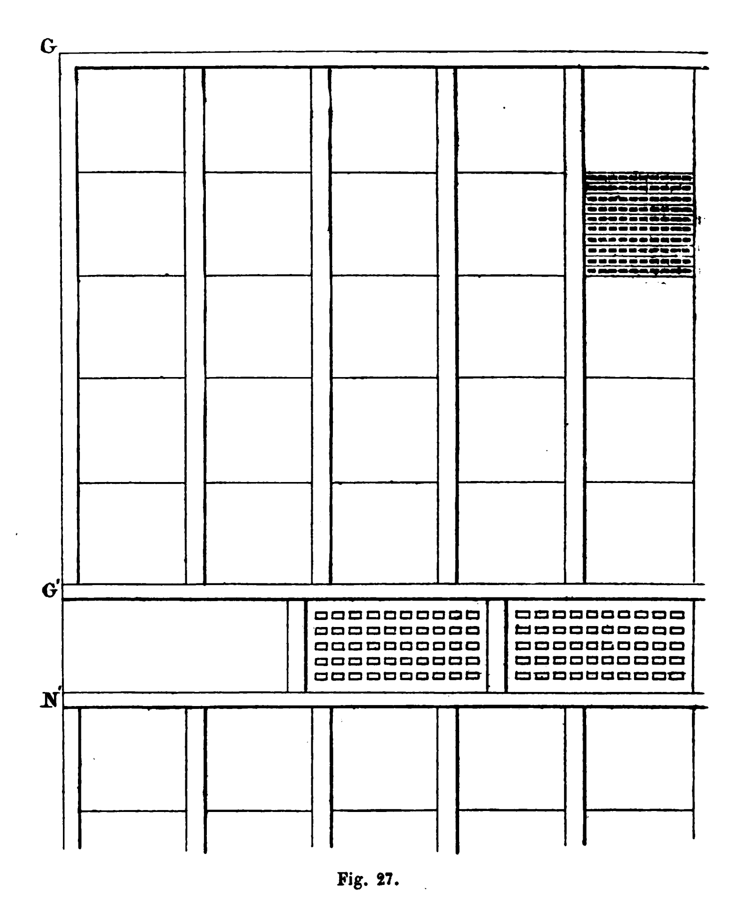


Fig. 27.

leur ne subira qu'une seule attraction et ne fera entendre qu'un seul choc. Dès lors il est facile de saisir la série des manœuvres. L'abonné N appelle. L'opérateur, avec la fiche d'essai, tâte le jack général du de-

mandé N′; si le demandé est libre (communications de la *fig.* 20), la sonnerie de son poste est, par le butoir F′, en communication avec son fil L'_2 à travers l'armature; reliée d'autre part en permanence à L'_1, la sonnerie va fonctionner en trembleuse et la vibration correspondante du parleur R avertira l'opérateur que la ligne est libre. Il porte immédiatement la fiche d'essai une fois sur le jack général de l'appelant et comme celui-ci, nous l'avons dit, a maintenu le manche H abaissé (*fig.* 22) pendant le temps très court nécessaire à l'essai, le courant de la pile *p* suit maintenant le chemin L_2 D C 3 S L_1, provoquant une seule attraction de l'armature de la sonnerie S, un seul coup sur le timbre. L'appelant sait alors que la communication va lui être donnée, abandonne H pendant que l'opérateur amène sa fiche individuelle sur le jack général du correspondant qu'il a demandé, et se trouve ainsi en mesure de communiquer immédiatement avec ce dernier.

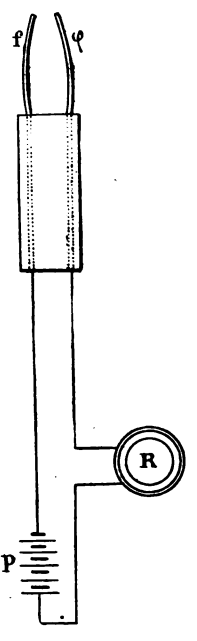


Fig. 28

Si, au contraire, la ligne du demandé N′ est occupée, l'opérateur, en faisant l'essai, n'entend qu'un coup frappé au parleur, puisque le circuit du poste est fermé soit à travers la sonnerie S′ directement, si le demandé est lui-même en train d'appeler (communications de la *fig.* 22), soit à travers l'enroulement secondaire I′ de la bobine d'induction et le téléphone T′, s'il est en train de causer (communications de la *fig.* 21); dans ce dernier cas, N′ entendra un *toc* l'avertissant qu'un autre

abonné l'a demandé. L'opérateur, lorsqu'il trouve ainsi la ligne occupée, le fait connaître à l'appelant en donnant successivement, mais rapidement, sur le jack général de celui-ci, quatre contacts avec la fiche d'essai; l'appelant entend quatre coups de timbre et non plus un comme tout à l'heure et sait que la ligne du correspondant demandé n'est pas libre.

A la fin de la conversation, les abonnés reviennent sur le circuit d'appel et avisent l'opérateur. — Bien que celui-ci ait à sa disposition, en cas de nécessité, un poste téléphonique, on voit que, régulièrement, toutes les manœuvres doivent être faites sans la moindre conversation entre les abonnés et l'opérateur.

Quoique le système Law ait soulevé des objections, les espérances qu'il avait éveillées et surtout les dernières modifications le rendant applicable aux circuits bifilaires ne permettaient pas de le passer sous silence.

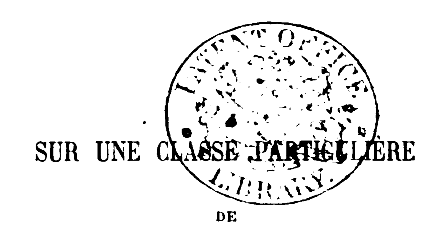
TENUE DES BUREAUX.

Il y a lieu de noter la tenue et l'entretien parfaits de certains bureaux, par exemple à New-York, où la propreté est telle, soit à l'extérieur du commutateur, soit à l'intérieur, que l'on croit montés depuis quelques semaines à peine des bureaux qui sont en service depuis plusieurs années. La poussière est évitée dans la mesure du possible; les vestiaires sont soigneusement isolés des salles de commutateurs; le balayage se fait, conformément aux précautions les plus élémentaires, avec un torchon mouillé ou de la sciure humide (l'importance du nettoyage ne peut être contestée, surtout avec les multiples à contacts en série; dans un même

bureau on a diminué de plus de 50 p. 100 le nombre des dérangements dans les contacts en apportant plus d'attention au nettoyage): on se trouve bien également de couvrir avec de gros papier, déposé sur la dernière couche, les câbles de commutateurs, ce qui empêche la poussière de se déposer aussi facilement sur eux et dans les jacks. Nous ajouterons qu'on cherche à rendre les locaux aussi confortables que possible pour le personnel : il existe une salle de repos où les téléphonistes peuvent se coucher en cas d'indisposition, une chambre de réunion où l'on trouve des périodiques, une salle à manger avec fourneaux, grands filtres contenant du café ou du thé chauds, de l'eau chaude pour en diminuer la force; les bureaux sont rendus, si faire se peut, agréables d'aspect; parfois même on les décore et les égaie à l'aide de plantes vertes.

G. DE LA TOUANNE.

(*A suivre.*)



SUR UNE CLASSE PARTICULIÈRE

DE

SURFACES CYLINDRIQUES ÉQUIPOTENTIELLES

Je considère une fonction a de x et de y satisfaisant à l'équation :

$$\frac{d^2 a}{dx^2} + \frac{d^2 a}{dy^2} = 0.$$

Soit $f(x, y, a) = 0$ l'équation qui définit cette fonction a. Je considère les deux courbes

$$f(x, y, a_1) = 0,$$
$$f(x, y, a_2) = 0,$$

et je les considère comme les sections droites de deux cylindres.

Si je pose $V = Ma + N$, M et N étant des constantes, la fonction V satisfera à l'équation

$$\frac{d^2 V}{dx^2} + \frac{d^2 V}{dy^2} = 0,$$

et je pourrai déterminer M et N de manière que V prenne les valeurs V_1 et V_2 respectivement pour a égal à a_1 et à a_2.

Si donc je maintiens les deux cylindres aux potentiels V_1 et V_2, les surfaces équipotentielles dans l'espace intermédiaire auront pour équation

$$f(x, y, a) = 0,$$

et le potentiel y sera donné par l'équation :

$$V = Ma + N.$$

Considérons en particulier la fonction arc $\mathrm{S}nz$ de la variable imaginaire $z = x + y\sqrt{-1}$. Nous aurons :

$$(1) \qquad z = x + y\sqrt{-1} = \mathrm{S}n\left(P + Q\sqrt{-1}\right),$$

et

$$\frac{d^2P}{dx^2} + \frac{d^2P}{dy^2} = 0, \qquad \frac{d^2Q}{dx^2} + \frac{d^2Q}{dy^2} = 0.$$

Et en développant l'équation (1), nous obtenons :

$$x + y\sqrt{-1} = \frac{\mathrm{S}n\,P\,\mathrm{C}n\,Q\sqrt{-1}\,dn\,Q\sqrt{-1} + \mathrm{S}n\,Q\sqrt{-1}\,\mathrm{C}n\,P\,dn\,P}{1 - k^2\,\mathrm{S}n^2P\,\mathrm{S}n^2Q\sqrt{-1}}.$$

Si je pose $\dfrac{\mathrm{S}n\,Q\sqrt{-1}}{\sqrt{-1}} = a$, $\mathrm{S}n\,P = t$ et que je sépare la partie réelle et la partie imaginaire ; j'aurai :

$$x = t\,\frac{\sqrt{(1 + a^2)(1 + a^2k^2)}}{1 + a^2k^2t^2}$$

$$y = a\,\frac{\sqrt{(1 - t^2)(1 - k^2t^2)}}{1 + a^2k^2t^2}.$$

Si je suppose Q constant, c'est-à-dire a constant, et que j'élimine t, j'aurai une relation $f(x, y, Q) = 0$ qui représentera une série de courbes équipotentielles. Si je suppose P constant, c'est-à-dire t constant et que j'élimine a, j'aurai une relation $\varphi(x, y, P) = 0$ qui sera l'équation de leurs trajectoires orthogonales. On sait, en effet, d'après la théorie des fonctions d'une variable imaginaire qui ont une dérivée, que l'on a :

$$\frac{dP}{dx}\,\frac{dQ}{dx} + \frac{dP}{dy}\cdot\frac{dQ}{dy} = 0.$$

Considérons donc le problème qui consiste à cons-

truire la courbe ayant pour équations :

$$(1)\quad \left\{ \begin{aligned} x &= t\,\frac{\sqrt{(1+a^2)(1+a^2k^2)}}{1+a^2k^2t^2} \\ y &= a\,\frac{\sqrt{(1-t^2)(1-k^2t^2)}}{1+a^2k^2t^2}, \end{aligned} \right.$$

t étant la variable indépendante et k une quantité plus petite que 1. On obtiendra l'équation sous forme entière en éliminant t entre ces deux équations.

Élevons les deux membres au carré, chassons les dénominateurs et ordonnons, il vient :

$$a^4k^4x^2t^4 + [2a^2k^2x^2 - (1+a^2)(1+a^2k^2)]t^2 + x^2 = 0$$
$$(a^4k^4y^2 - a^2k^2)t^4 + [2a^2k^2y^2 + a^2(1+k^2)]t^2 + y^2 - a^2 = 0.$$

En éliminant t^2 entre ces deux équations, il vient :

$$\begin{aligned} &-\left\{a^4k^4[a^2(1+k^2)+2]x^2 + a^2k^2(1+a^2)(1+a^2k^2)(a^2k^2y^2-1)\right\} \\ &\times [a^2(2a^2k^2+1+k^2)x^2 + (1+a^2)(1+a^2k^2)(y^2-a^2)] \\ &- x^4a^4k^4(1-a^4k^2)^2 = 0. \end{aligned}$$

D'où, en ordonnant, et divisant par $a^4k^4(1+a^2)^2$ $(1+a^2k^2)^2$:

$$(x^2+y^2)^2 - \left(\frac{1+a^2}{1+a^2k^2} + \frac{1}{k^2}\,\frac{1+a^2k^2}{1+a^2}\right)x^2 - \left(a^2 + \frac{1}{a^2k^2}\right)y^2 + \frac{1}{k^2} = 0.$$

L'équation est donc du 4e degré.

Pour construire la courbe d'après les expressions de x et de y en fonction de t nous devons supposer les radicaux affectés du signe $\pm$, chaque valeur de t donnant lieu à quatre points (x, y) $(-x, y)$ $(x, -y)$ $(-x, -y)$. On peut se contenter de prendre les valeurs positives de t, car, pour les valeurs négatives, on obtient le même point qu'en prenant le radical avec un signe contraire dans la valeur de x.

Pour que x et y soient réels, il faut que t soit lui-

même réel, et compris dans l'un des trois intervalles

$$\left(-\infty, -\frac{1}{k}\right) \quad (-, 1+1) \quad \left(+\frac{1}{k}, +\infty\right).$$

Il nous suffira de faire varier t de 0 à $+1$ et de $\frac{1}{k}$ à $+\infty$; puis de prendre les symétriques par rapport aux axes coordonnés des portions de courbe ainsi obtenues. Voici le tableau des valeurs correspondantes :

t	0	positif	$+1$	$\frac{1}{k}$	positif	∞
x	0	d°	$\sqrt{\frac{1+a^2}{1+a^2k^2}}$	$\frac{1}{k}\sqrt{\frac{1+a^2k^2}{1+a^2}}$	d°	0
y	a	d°	0	0	d°	$\frac{1}{ak}$

On obtient les deux ovales figurées ci-dessous :

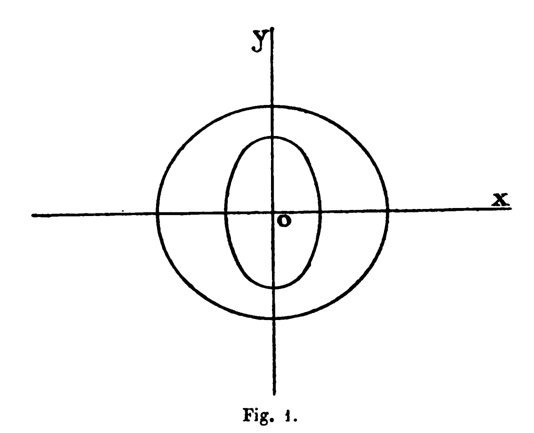


Fig. 1.

Ces deux ovales ne peuvent se couper. Cherchons en effet les points doubles ; écrivons qu'on obtient même x et même y pour deux valeurs de t diffé-

rentes t_1 et t_2, on a :

$$\frac{t_1}{1+a^2k^2t_1^2}=\frac{t_2}{1+a^2k^2t_2^2}$$

$$\frac{\sqrt{(1-t_1^2)(1-k^2t_1^2)}}{1+a^2k^2t_1^2}=\frac{\sqrt{(1-t_2^2)(1-k^2t_2^2)}}{1+a^2k^2t_2^2}.$$

De la première de ces équations, on tire :

$$t_1=\frac{1}{a^2k^2t_2},$$

et, en reportant cette valeur de t_1 dans la seconde, on trouve :

$$(1-a^2k^2t_2^2)(1+a^2k^2t_2^2)=0.$$

On ne peut avoir $t_2=\pm\frac{1}{ak}$, car on aurait $t_1=\pm\frac{1}{ak}$, d'où $t_1=t_2$, ce qui est contre l'hypothèse. Il vient donc :

$$t_2=\pm\frac{1}{ak\sqrt{-1}}\qquad t_1=\mp\frac{1}{ak\sqrt{-1}}=-t_2.$$

En reportant cette valeur de t dans les expressions de x et y, on voit que les points doubles ainsi obtenus sont les points circulaires à l'infini. La connaissance de cette particularité et celle des points situés sur les axes suffisent à déterminer tous les coefficients de l'équation du 4[e] degré, ce qui permet de vérifier très simplement le calcul d'élimination.

Les deux ovales équipotentielles sont l'une intérieure, l'autre extérieure au cercle :

$$x^2+y^2-\frac{1}{k}=0,$$

qui est lui-même une ligne équipotentielle $\left(\text{pour } a=\frac{1}{\sqrt{k}}\right)$.

Ce même cercle est aussi une trajectoire orthogonale des lignes équipotentielles, comme il résultera de

l'équation 2 ci-après; mais x et y sont alors imaginaires.

Si je pose maintenant $x = y'\sqrt{-1}$, $y = x'\sqrt{-1}$, $t = a'\sqrt{-1}$, $a = t'\sqrt{-1}$ dans les expressions de x et y en fonction de a et de t, je retrouve les mêmes expressions pour x' et y' en fonction de a' et de t'. Le résultat de l'élimination de t' est donc :

$$(x'^2 + y'^2)^2 - \left(\frac{1 + a'^2}{1 + a'^2 k^2} + \frac{1}{k^2}\frac{1 + a'^2 k^2}{1 + a'^2}\right)x'^2 - \left(a'^2 + \frac{1}{a'^2 k^2}\right)y'^2 + \frac{1}{k^2} = 0.$$

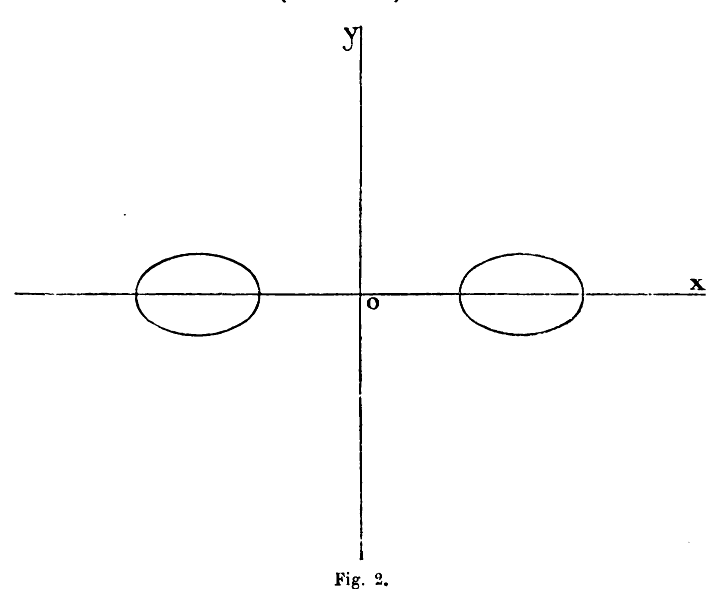


Fig. 2.

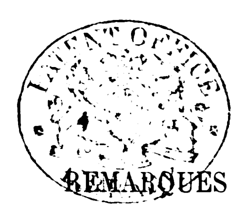
Donc le résultat de l'élimination de a entre les équations (1) est :

$$(2) \qquad (x^2 + y^2)^2 + \left(\frac{1 - t^2}{1 - k^2 t^2} + \frac{1}{k^2}\frac{1 - k^2 t^2}{1 - t^2}\right)y^2 - \left(t^2 - \frac{1}{k^2 t^2}\right)x^2 + \frac{1}{k^2} = 0.$$

Cette équation représente la famille des trajectoires orthogonales des courbes représentées par les équations (1). Une discussion analogue à la précédente, montre que la courbe (2) est composée des deux ovales figurés ci-dessus et symétriques l'un de l'autre par rapport à l'axe des y qui leur est extérieur.

La discussion précédente permet donc de se faire une idée du champ électrostatique situé dans l'intervalle de deux cylindres appartenant à la famille (1) et maintenus respectivement à deux potentiels constants.

J.-B. Pomey.



REMARQUES

SUR LA MÉTHODE ÉLECTRO-CHIMIQUE

D'INSCRIPTION DES COURANTS ALTERNATIFS (*)

M. Paul Janet a fait connaître récemment (**) une nouvelle méthode très ingénieuse, qu'il a appelée *électro-chimique*, pour l'étude des courbes périodiques des courants alternatifs. Il peut être intéressant de remarquer que cette méthode est, en électricité, l'analogue exacte de celle que M. Marcel Deprez a imaginée autrefois pour l'étude des machines à vapeur.

Des deux côtés, le problème consistait à tracer une courbe périodique représentant en ordonnées les valeurs d'une pression variable, pression d'un fluide dans les machines à vapeur ou à gaz, pression électrique dans les circuits électriques.

M. Marcel Deprez a éliminé l'influence de l'inertie de l'indicateur de Watt, en lui faisant seulement marquer par un petit crochet le moment où la pression du cylindre devient égale à une contre-pression connue, qu'il fait agir sur l'autre face du piston; en déplaçant la fourchette de butée du crayon, en même temps qu'il modifie la contre-pression (ce qui a lieu automatiquement si cette pression est produite par un ressort), il

(*) Note de M. A. Blondel, *Comptes rendus*, 13 août 1894.

(**) *Comptes rendus*, 16 avril, 2 et 16 juillet 1894.

a obtenu le tracé complet de la courbe par segments horizontaux.

De même M. Janet fait agir, en opposition à la différence de potentiel variable qu'il veut mesurer, une force électromotrice constante; la trace électro-chimique apparaît dès que la première dépasse la seconde d'une quantité connue, et c'est encore en modifiant la position du traceur en même temps que la contre-pression que l'on obtient le relevé de la courbe par segments de droites parallèles à l'axe des abscisses. Le succès de cette intéressante méthode vient surtout de ce qu'au lieu d'un instrument indicateur du genre du galvanomètre, elle emploie pour le tracé des segments de droite un phénomène chimique où n'interviennent ni inertie ni amortissement (*); elle dispense, par la même circonstance, de tout enregistrement photographique, toujours forcément compliqué. Elle paraît donc appelée à un légitime succès.

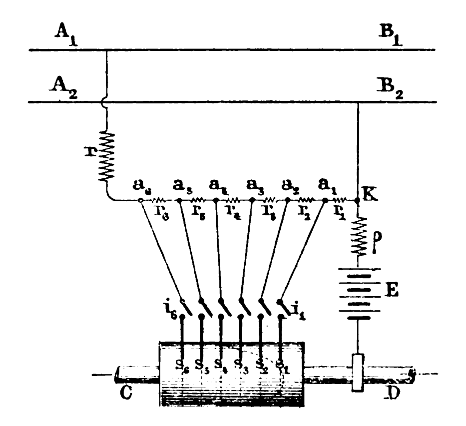
Mais l'emploi d'une batterie d'accumulateurs proportionnée à la force électromotrice à mesurer constituerait encore une sujétion gênante dans bien des cas; je me propose d'indiquer ici un autre artifice permettant de réduire autant que l'on veut, le nombre de ces éléments sans introduire dans la méthode d'autres causes d'erreurs que celles existantes.

Pour trouver une série de points de la courbe par l'intersection avec une droite horizontale, il n'est pas nécessaire de déplacer celle-ci parallèlement à elle-

(*) J'avais essayé, il y a un an, d'appliquer l'artifice de M. Marcel Deprez à mon *oscillographe* pour courants électriques, en limitant le déplacement du miroir vibrant par une double butée analogue à la fourchette de l'indicateur de Watt; mais la difficulté de régler le jeu de celle-ci à une valeur extrêmement faible et de réaliser encore l'amortissement nécessaire ne m'a pas permis de réussir.

même; on peut, tout en la conservant fixe, déterminer les mêmes segments *en modifiant l'échelle de la courbe;* par exemple, en réduisant l'échelle de moitié, on obtient le même segment qu'en doublant l'ordonnée de la droite horizontale. Ce changement d'échelle peut être réalisé très simplement à l'aide d'un potentiomètre construit d'une manière appropriée.

Supposons qu'il s'agisse, par exemple, de déterminer la courbe des différences de potentiel u entre deux lignes A_1B_1, A_2B_2 : on disposera entre A_1 et B_2 une dérivation A_1B_2 de résistance totale R, comprenant un rhéostat sans induction r et une série de résistances sans induction r_1, r_2, ..., dont on reliera



les bornes a_1, a_2, ..., aux styles s_1, s_2, ..., qui frottent contre le tambour par l'intermédiaire d'interrupteurs i_1, i_2, ... qu'on peut fermer successivement (*). D'autre part, on reliera le point K au tambour par un

(*) Dans le but de réduire au minimum l'intensité du courant dérivé par les styles; dans ces conditions, je suppose, bien entendu, le tambour calé sur l'arbre de l'alternateur qui produit les courants, ou entraîné par un petit moteur synchrone amorti.



conducteur dans lequel on intercalera une pile E et une résistance ρ suffisamment grande pour que le courant dérivé à travers le tambour entre K et a_1, ou a_2, ou a_3, ... soit négligeable à côté du courant qui traverse la résistance r_1, r_2, ... Les différences de potentiel qui agiront aux extrémités des styles seront, dans ces conditions, sensiblement :

$$\left(\frac{r_1}{R} u - E\right), \quad \left[\frac{(r_1 + r_2)}{R} u - E\right], \quad \left[\frac{(r_1 + r_2 + r_3)}{R} u - E\right], \ldots$$

Si les styles sont également espacés, et qu'il y en ait 10, par exemple, on devra faire :

$$r_1 + r_2 = \frac{10}{9} r_1, \quad r_1 + r_2 + r_3 = \frac{10}{8} r_1, \ldots$$

ou :

$$r_2 = \frac{1}{9} r_1, \quad r_3 = \frac{10}{72} r_1, \quad r_4 = \frac{10}{56} r_1, \ldots, \quad r_{10} = \frac{10}{2} r_1,$$

et l'on obtiendra 10 segments de la courbe, c'est-à-dire 20 points déterminant une alternance (*).

Pour inscrire l'autre alternance, il suffit d'intervertir le sens de la force électromotrice E ou de u, et de recommencer les opérations.

Dans ces conditions, le même appareil peut être appliqué à tous les cas possibles, quel que soit le voltage; il suffit de régler à la main le rhéostat r de façon que le premier style donne une trace courte (voisine du sommet de la courbe) pour que l'une des alternances de celle-ci puisse se trouver inscrite à une échelle convenable facile à déterminer quand on connaît E, R et r_1.

(*) Au lieu de cela, on pourrait faire varier les résistances suivant une loi quelconque et espacer les styles inégalement en conséquence; mais la disposition qu'on vient d'indiquer paraît en général préférable.

La force électromotrice employée E peut donc être quelconque, pourvu que les résistances r_1, r_2, ..., soient choisies en conséquence; mais il ne faut pas perdre de vue que la netteté dans l'apparition et la disparition de la trace bleue, et par conséquent la précision, croîtra avec E.

On remarquera aussi que, en faisant plusieurs inscriptions avec des valeurs différentes de E, on peut multiplier presque indéfiniment le nombre de points de la courbe obtenus.

Les mêmes dispositifs s'appliquent à la détermination des intensités de courant soit qu'on établisse le potentiomètre sur le courant lui-même, soit qu'on le mette en dérivation par rapport à un des conducteurs; si l'on adopte ce dernier procédé, on pourra construire, une fois pour toutes, une boîte portative comprenant le tambour, son moteur synchrone, la pile, le potentiomètre et le rhéostat de réglage, applicable à toutes les déterminations d'intensité de courant aussi bien que de différence de potentiel.



Inscription autographique directe des courants périodiques au moyen de la méthode électro-chimique (*).

Note de M. P. Janet, présentée par M. Mascart.

J'ai montré, dans une précédente communication (**), comment la méthode d'inscription électro-chimique permettait, au moyen de mesures prises sur les graphiques à la machine à diviser, de construire par points la courbe représentative des courants périodiques. Je suis parvenu, depuis, à perfectionner notablement cette méthode en obtenant l'inscription autographique directe, sur le cylindre enregistreur, des courbes cherchées.

L'appareil employé se compose de quinze styles en acier aiguilles à tricoter), isolés les uns des autres, et dont les pointes équidistantes sont disposées en ligne droite à 1 millimètre environ les unes des autres. Ces styles communiquent respectivement avec quinze points équidistants pris sur une batterie d'accumulateurs en tension : dans les expériences faites, les communications étaient prises de deux en deux éléments, de sorte que la différence de potentiel entre deux pointes consécutives était de 4 volts environ. Cela posé, soient A et B les deux points entre lesquels on veut étudier une force électromotrice périodique : on met le point A en communication avec le cylindre, le point B avec l'un des styles. (Dans les expériences, c'était en général le troisième du côté négatif, mais ce choix n'a rien d'absolu.) On procède alors à l'inscription. En se reportant à la démonstration qui a été donnée dans

(*) Laboratoire d'électricité industrielle de la Faculté des sciences de Grenoble.

(**) *Comptes rendus*, 2 juillet 1894.

la note déjà citée, on verra sans peine que chaque style décrit, sous forme de traces bleues, une série de segments de droites, et que tous ces segments ne sont autre chose que les segments interceptés par une série de droites parallèles et équidistantes, sur la courbe périodique étudiée : il en résulte que cette courbe se dessine immédiatement d'elle-même en hachures bleues sur fond blanc. C'est par ce procédé qu'ont été obtenues les courbes que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie; elles représentent la différence de potentiel aux bornes du secondaire d'un transformateur Zipernowsky fonctionnant sensiblement à vide.

Il résulte de cette communication et des deux autres que j'ai eu occasion de publier précédemment (*) que la méthode électro-chimique se prête avec la plus grande facilité à l'étude des plus importantes questions que présente le courant alternatif; fréquence, différence de phases, forme du courant ou de la force électromotrice : il semble donc que, dès maintenant, elle doive prendre sa place dans l'Électrotechnique à côté de méthodes plus précises peut-être, mais à coup sûr plus compliquées et plus délicates.

(*Comptes rendus*, 16 juillet 1894.)

Sur une perturbation magnétique.

Note de M. MOUREAUX, présentée par M. Mascart.

Nous avons enregistré, le 20 juillet, la plus grande pertubation magnétique qui se soit produite ici depuis celle du 12 février 1892. Elle a débuté brusquement à $6^h,12$ du matin; vers 10 heures, la composante horizontale a commencé à baisser très rapidement; le mouvement en hausse de la composante verticale n'a commencé à s'accentuer que vers midi. Entre $12^h,30$ et 2 heures, la force magnétique a augmenté considérablement, car, contrairement à ce qu'on observe le plus souvent, les deux composantes croissaient simultanément,

(*) *Comptes rendus*, 16 avril et 2 juillet 1894.

L'agitation s'est à peu près calmée vers 3 heures dans la nuit, mais la composante horizontale est restée très faible toute la journée du 21. Les variations extrêmes, pendant cette perturbation, sont :

$$D = 1^\circ, \quad H = \frac{1}{57}, \quad Z = \frac{1}{100}.$$

Les variations du courant tellurique, sur la ligne est-ouest, donnent une courbe assez semblable à celle du bifilaire ; sur la ligne nord-sud, les différences de potentiel sont plus rapides et de plus grande amplitude ; les deux galvanomètres ont à peu près la même sensibilité.

Le début de la perturbation a été simultané sur les deux séries d'appareils.

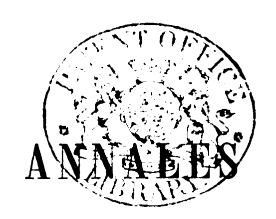
Les courbes magnétiques de l'Observatoire de Perpignan, transmises par M. le D[r] Fines, ont, comme on l'a signalé déjà, la même allure générale que celles du Parc Saint-Maur, mais les variations des deux composantes de la force y sont beaucoup moins accusées.

Les taches solaires sont nombreuses, mais elles ne présentent rien de particulier, quant à leur étendue, ou à leur position relativement au méridien central.

(*Comptes rendus*, 23 juillet 1894.)

L'Éditeur-Gérant : V[ve] Ch. Dunod et P. Vicq.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.



ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1894 **Novembre-Décembre**

TÉLAUTOGRAPHE D'ÉLISHA GRAY

Historique. — Le problème de la transmission télégraphique de l'écriture s'est posé presque aussitôt que la télégraphie électrique est entrée dans la voie pratique. Les premiers appareils de l'*abbé Caselli* ont été réalisés en 1855. Ils ont effectué un service régulier entre Paris et Lyon vers 1866, et leur rendement était même satisfaisant pour l'époque, car il atteignait 33 dépêches de 28 à 30 mots à l'heure.

Le principe de cet appareil est trop connu pour qu'il soit nécessaire de s'y arrêter; rappelons seulement que, dans ce système comme dans ceux qui ont été réalisés plus tard par *Meyer*, *d'Arlincourt* et *Lenoir*, les télégrammes étaient préparés à l'avance par le public sur une feuille métallique de dimensions déterminées, et que les caractères tracés étaient reproduits à l'arrivée par une série de hachures très voisines les unes des autres. Tous ces appareils reposaient sur l'emploi de moteurs synchroniques; dans celui de Ca-

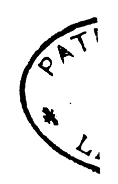
uniforme. Suivant que l'opérateur écrit lentement ou rapidement, l'écriture est allongée ou comprimée ; pendant les arrêts de la main, la plume réceptrice trace toujours un trait continu ; les espaces sont ainsi mal reproduits, aucun retour à l'arrière pour une rature, la pose d'un point ou d'un accent n'est pas possible; l'écriture est donc incommode, incomplète et déformée; elle ne présente aucun caractère d'authenticité.

Le télautographe imaginé par *Cowper*, et qui a été exploité, sans succès réel d'ailleurs, en Amérique, par la *Writing telegraphe Co*, est basé sur le même principe, mais le rhéostat métallique est remplacé par une masse de poussière de charbon que le déplacement des tiges comprime plus ou moins.

Le *professeur Elisha Gray* s'est attaché depuis plusieurs années au problème de la reproduction de l'écriture à distance. Il l'a envisagé dans toute sa généralité, a décomposé tous les éléments de la question et a trouvé une solution complète pour chacun d'eux. Dans son appareil le papier est fixe pendant toute la durée que désire l'opérateur ; on peut écrire, dessiner aussi longtemps qu'on le veut sur toute l'étendue qui est à la portée de la main, et lorsqu'on a utilisé cet espace, on peut, en faisant avancer le papier d'une quantité déterminée, faire progresser d'une quantité égale la bande de l'appareil récepteur.

M. Gray a déjà réalisé plusieurs solutions complètes du problème. L'une des premières a été indiquée dans ce recueil (*) ; elle comprend deux conducteurs, mais

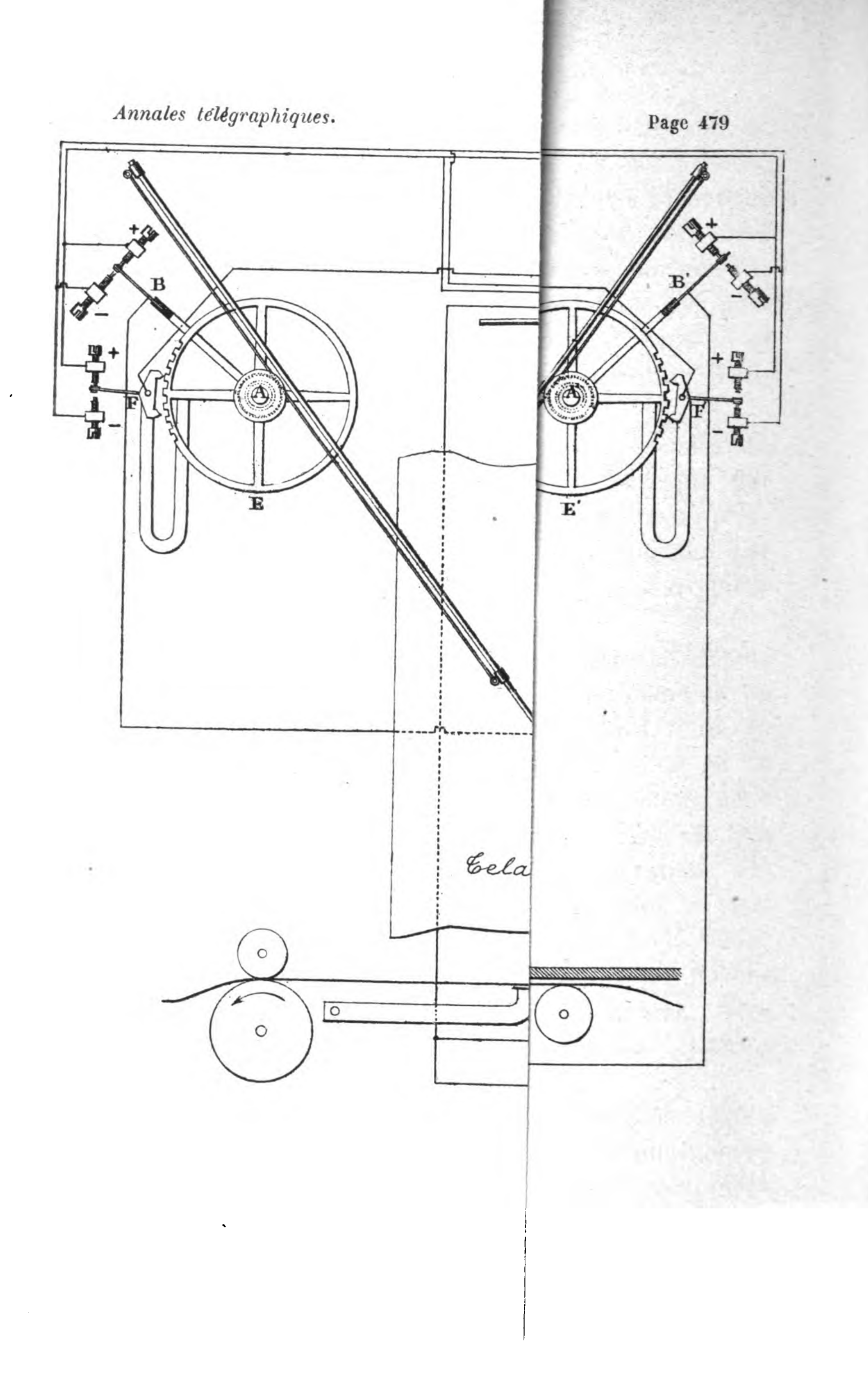
(*) *Annales télégraphiques*, t. XVI, 1889, p. 46. Voir également H. Thomas, *Traité de télégraphie électrique*, p. 492.



PAT



PATENT
LIBR



B
+
−
+
−
F
A
E
B'
+
−
+
−
F'
A
E'
Cela

le fonctionnement des divers organes est très délicat; cet appareil exige des lignes parfaites et n'a pu fonctionner qu'à courte distance. L'appareil actuel, que nous allons décrire est beaucoup plus robuste, ne comporte pour ainsi dire aucun réglage et est susceptible d'être établi sur de longues lignes. Malheureusement, il exige l'emploi de quatre conducteurs.

Organes écrivants. — Le transmetteur (*fig.* 2) comprend, comme on l'a indiqué plus haut, deux tiges AC, A'C qui peuvent s'allonger ou se raccourcir en passant par des points fixes; dans l'articulation C pénètre la pointe d'un crayon, au moyen duquel on écrit sur une partie de la bande tendue sur une tablette G; le crayon entraîne dans toutes ses excursions les tiges AC, A'C sans qu'il en résulte pour la main une fatigue notable.

Dans le récepteur, les tiges articulées font mouvoir un tube de verre capilaire alimentée d'encre très fluide amenée par un tube de caoutchouc extrêmement fin et flexible. L'écriture est donc reproduite par un trait d'épaisseur constante dépendant du diamètre de la plume; en raison de la capillarité, l'encre ne s'écoule que si le tube touche le papier.

Moteur du récepteur. — Imaginons un moteur quelconque faisant tourner constamment et dans le même sens un axe *xy* (*fig.* 3) sur lequel est calé un manchon *r*, pouvant embrayer avec l'une ou l'autre des poulies *p* ou *q* montées à frottement doux sur le même axe, suivant qu'il est écarté à gauche ou à droite de sa position normale. Un fil sans fin passant sur la gorge de ces poulies et sur deux tambours de renvoi *m* et *n* sera actionné par l'une ou l'autre des poulies ou demeurera au repos suivant que le manchon sera porté

à droite, à gauche ou laissé dans la situation intermédiaire ; dans l'un ou l'autre de ces cas, la seconde poulie ne nuira pas à l'action de celle qui est embrayée, elle suivra le mouvement que lui transmet le fil. Il

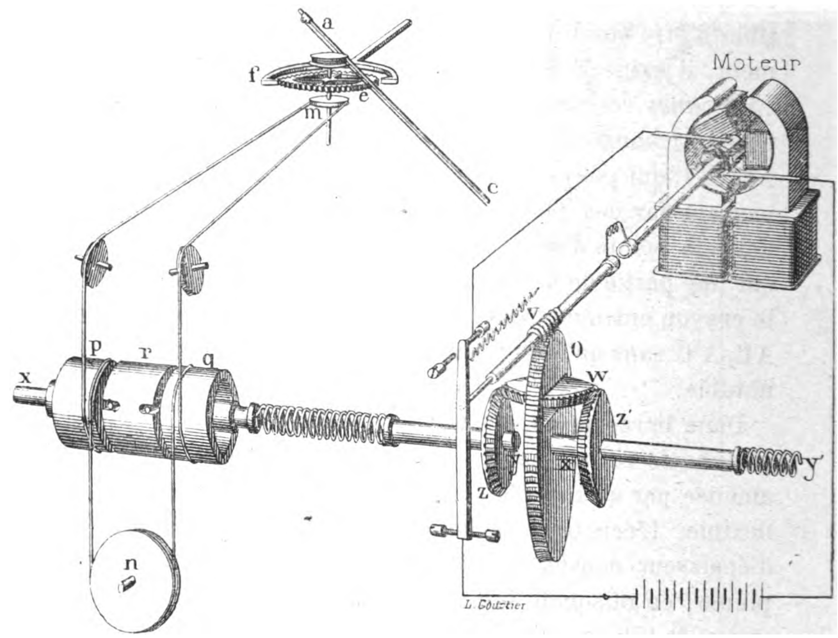


Fig 3.

résulte de cette disposition qu'on peut faire progresser celui-ci dans le sens de la flèche ou en sens inverse suivant le déplacement qui a été donné au manchon, et que par suite, on peut faire tourner l'axe *a* du tambour *m* de droite à gauche ou de gauche à droite.

Orientation du mouvement dans le transmetteur. — Dans le transmetteur (*fig.* 2), la branche AC est formée d'une tige légère en acier le long de laquelle est tendu un fil de soie attaché à chaque extrémité et pouvant

faire plusieurs tours sur un petit tambour à axe vertical A, comme le fait l'archet d'un foret autour du porte-outil. De même que dans cet instrument, à tout déplacement rectiligne de la tige correspondra un déplacement angulaire du tambour : la réciproque aurait lieu si le tambour commandait le mouvement de la tige, comme nous le verrons dans le récepteur.

Un levier B terminé à son extrémité par une pièce métallique isolée du reste de l'appareil, est monté à frottement dur sur l'axe A et peut osciller entre deux butoirs + et — reliés, l'un à une pile positive, l'autre à une pile négative. Lorsque la tige AC se raccourcit, elle fait tourner l'axe dans le sens de la flèche et celui-ci porte le bras B sur le contact —; il y demeure tant que le déplacement ne change pas de sens. Or son extrémité est reliée à la ligne n° 1; une émission négative sera donc envoyée sur cette ligne pendant toute la durée du raccourcissement de la tige AC. Une émission positive aurait lieu si cette tige s'allongeait.

Orientation électro-magnétique du mouvement dans

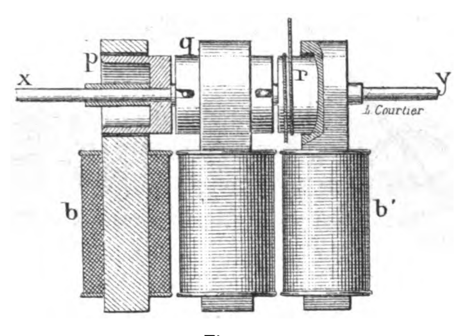


Fig. 4.

le récepteur. — Au poste d'arrivée (*fig.* 4 et 5), la ligne n° 1 aboutit à un électro-aimant polarisé qui porte le

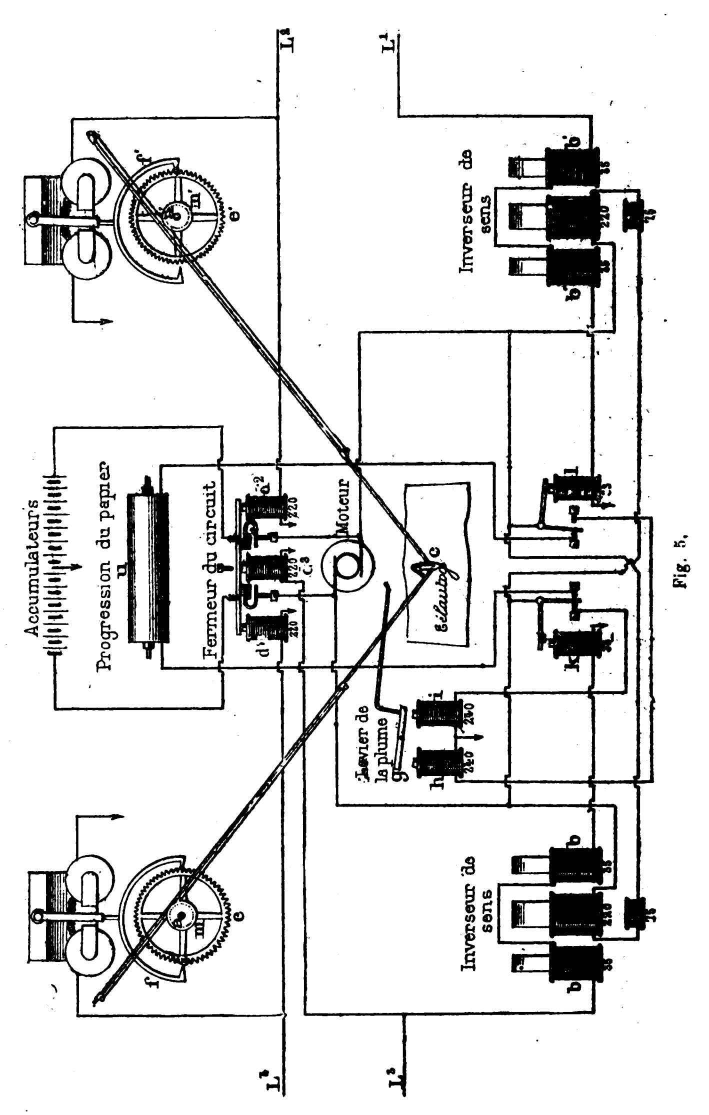


Fig. 5.

manchon *r* à droite ou à gauche suivant le sens du courant qui le traverse. Ce manchon est en fer doux de

même que les poulies *p* et *q*; l'embrayage s'effectue par simple adhérence magnétique; pour que la rémanence ne s'oppose pas au débrayage, les joues des poulies sont recouvertes d'une mince couche de cuivre; le collage des armatures après la cessation du courant est ainsi évité.

Or l'axe *am* (*fig.* 3 et 5) porte un second tambour *a*, de même dimension que celui du transmetteur A, qui agit sur une tige *ac* par l'intermédiaire d'un fil de soie; cette tige est formée d'un petit tube d'aluminium et a même longueur que celle du transmetteur; les courants positifs qui provoquent l'embrayage de la poulie *p* ont pour effet de l'amener à l'avant de la figure; les courants négatifs qui portent l'embrayage sur *q* la font rétrograder.

Systèmes conjugués. — Le transmetteur est pourvu de deux tiges semblables AC, A'C agissant sur les leviers d'émission B et B', reliés respectivement aux fils 1 et 3. De même, le récepteur comprend deux électro-aimants polarisés en relation avec ces fils et agissant chacun sur un jeu de poulies commandant une tige d'aluminium par l'intermédiaire des organes décrits plus haut (*).

On conçoit que, dans ces conditions, la plume puisse, dans une certaine mesure, reproduire les excursions du crayon. En réalité, elle ne pourrait retracer exactement que des déplacements rectilignes effectués à une vitesse

(*) Les figures représentent trois électro ordinaires, au lieu du récepteur polarisé dont il est question au cours de la description. Il est facile de vérifier que les bobines *b b* sont seules en relation avec la ligne et que la bobine intermédiaire est actionnée par un courant local qui communique au manchon *r* a polarité voulue pendant le fonctionnement du récepteur L'inventeur a adopté cette disposition parce qu'il n'avait pu se procurer, à Chicago, des aimants permanents suffisamment puissants; il se propose d'utiliser désormais pour cet usage des aimants formés d'acier d'Allevard.

constante, celle qui correspond à la rotation du moteur; ce dispositif ne suffit donc pas pour reproduire l'écriture, il transmet seulement le sens dans lequel les tiges *ac* et *a'c* doivent se déplacer, il les sollicite à marcher dans cette direction, mais leur imprime une vitesse quelconque; il faut donc relever, transmettre et reproduire leur vitesse de translation au moyen d'une autre série d'organes. Ces organes seront reliés par deux nouveaux fils nº 2 et 4.

Transmission de la valeur absolue du déplacement. — Sur l'axe A du transmetteur (*fig.* 2), est calée une roue pourvue de 96 dents qui actionne une fourchette F mobile sur un pivot vertical et dont l'extrémité oscille entre deux butoirs reliés l'un à une pile positive l'autre à une pile négative. Le massif de cette fourchette étant en relation avec la ligne 2, des courants alternativement positifs et négatifs seront envoyés sur ce fil à chaque oscillation de la pièce.

La roue E n'engrène pas mécaniquement avec la fourchette F, mais agit sur elle par un moyen spécial qui a pour effet de produire un contact suffisamment énergique sans provoquer de chocs et sans entraîner l'usure des pièces. Cette roue est en fer doux et un aimant permanent la polarise par l'intermédiaire d'un appendice en fer qui embrasse les dents situées au voisinage de la fourchette. Cette dernière pièce est en relation magnétique avec le second pôle de l'aimant permanent et sa largeur est telle que lorsqu'une de ses extrémités est en regard d'une dent de la roue, l'autre est en présence d'un creux; il y a donc une attraction énergique entre la dent et la branche de la fourchette située en face, tandis qu'il n'y a qu'une action faible entre l'autre branche et le creux correspondant. Si la

roue E tourne, à une dent succède un vide et la fourchette bascule pour se mettre en contact avec le plein qui se trouve en présence de l'autre branche. On peut donc, en définitive, dire qu'au passage d'une dent de la roue E correspond une émission positive sur la ligne 2 et, au passage d'un vide une émission négative, il suffira pour que ce langage soit correct de choisir convenablement le point de repère.

Si l'adhérence du fil sur son tambour d'enroulement est parfaite, le nombre de dents dont la roue E avance ou rétrograde correspond à la valeur absolue du déplacement de la tige AC par rapport au point A. Les émissions alternées seront d'ailleurs longues ou brèves suivant que le mouvement qui les produira sera lent ou rapide, mais leur nombre sera fixe pour une valeur déterminée de la variation de AC, quelle que soit d'ailleurs le sens de cette variation.

Organe correspondant dans le récepteur. — A l'arrivée (*fig.* 5), la ligne 2 actionne un électro polarisé dont l'armature est terminée par une ancre *f*, agissant sur une roue d'échappement *e*, à axe vertical; lorsque l'armature est en contact à droite ou à gauche, une dent se trouve en prise et la roue *e* ne peut plus tourner; si elle fait une demi-oscillation, l'ancre abandonne la dent qu'elle maintenait et entre en prise du côté opposé. Lorsque le système est bien réglé la roue *e* ne peut avancer que d'une seule division pendant la demi-oscillation de l'armature. Le profil des dents est d'ailleurs symétrique ainsi que celui des branches de l'ancre, l'échappement agit donc quel que soit le sens dans lequel la roue est sollicitée à tourner ; il n'a pour effet que de régler le nombre des dents qui doivent passer dans un sens ou dans l'autre et non pas de s'op-

poser à un changement dans la direction de rotation. Or, la roue *e* porte le même nombre de dents que celle du transmetteur et est montée sur l'axe *a* du manchon *m*, les oscillations de la fourchette F sont donc répétées par l'ancre *f*, les déplacements angulaires de E reproduits par *e* et enfin les variations [de AC transmises à la tige *ac*.

Soulèvement et abaissement du crayon. — Pour écrire, il faut non seulement déplacer le crayon dont on fait usage en l'appliquant sur le papier, mais encore le soulever ou l'abaisser suivant les besoins et le déplacer parallèlement à la feuille pour produire des intervalles, placer des accents, ponctuer, raturer, etc. Il faut donc qu'à ces mouvements effectués par le crayon transmetteur correspondent les déplacements analogues de la plume à l'arrivée. On a pu obtenir ces deux opérations sans recourir à de nouveaux fils ; à cet effet, le soulèvement ou l'abaissement du crayon provoquent la réduction de l'intensité du courant sur l'une ou l'autre des lignes impaires.

La tablette sur laquelle on écrit au poste de départ est une plaque métallique G mobile autour d'un axe horizontal et dont le jeu est limité par deux butoirs très voisins H et I. Un ressort antagoniste tend à maintenir cette plaque appliquée sur le butoir supérieur. La pression du crayon suffit pour l'appuyer sur le butoir inférieur. Cette pièce oscillera donc entre ces deux arrêts à tout mouvement de la main ayant pour effet de soulever ou d'abaisser le crayon. Les butoirs H et I, lorsqu'ils sont en contact avec des blocs métalliques placés en regard, mais isolés électriquement entre eux et du reste de l'appareil, établissent un court circuit sur l'une ou l'autre des bobines K et L, intercalées

entre les leviers B et B' et les lignes correspondantes. La figure 2 montre que, dans ces conditions, le courant est réduit au moins sur l'une des deux lignes ; lorsque le contact avec le butoir supérieur est bien établi, la bobine L est en court circuit et l'intensité sur la ligne 3 reprend la valeur maxima ; c'est au contraire le courant du fil 1 qui prend cette valeur si le crayon appuie nettement sur le papier (*).

Soulèvement et abaissement de la plume. — Le courant des lignes impaires sortant des électro polarisés *b* et *b'* agit encore sur deux petits relais *k* et *l* ; dans la position de repos ces relais ferment un circuit local sur des électro *i* et *h* pourvus d'une armature commune *g* sur laquelle ils agissent en sens contraire. Les piles et les circuits locaux étant égaux, si les deux relais sont au repos la palette *g* demeure dans la position qu'elle avait antérieurement, car l'action de la bobine la plus voisine d'elle prédomine, mais si l'un des relais *k* ou *l* fonctionne, le courant dans l'un des électro locaux est coupé et l'autre agit seul ; la palette *g* basculera donc à droite ou à gauche suivant que *l* ou *k* agira sur son armature. Or ces relais sont pourvus d'un ressort antagoniste que l'on règle de telle sorte que le courant total seul le fasse fonctionner. Dans ces conditions, la palette *g* suit tous les mouvements de la plaque-pupitre G ; son extrémité porte une tige-guide qui soulève la plume lorsque l'électro *h* prédomine et la laisse s'abaisser par son propre poids quand l'électro *i* agit seul.

(*) La partie postérieure de la figure 2 représente un schéma du transmetteur, tracé sur un plan horizontal ; la coupe verticale située à la partie antérieure montre le jeu de la tablette et les organes accessoires ayant pour objet la transmission de son mouvement.

Progression du papier dans le transmetteur. — Dans l'un et l'autre appareil, le papier forme un rouleau de $0^m,13$ de largeur, qui se place à l'avant du bâti, au-dessous du pupitre ; des guides l'amènent à la tablette sur laquelle il est convenablement tendu, dans une position fixe ; il n'avance donc pas d'une manière continue comme dans l'appareil Jordery, mais la bande est engagée entre deux cylindres constituant une sorte de laminoir. La plume peut parcourir toute la largeur de la bande et se déplacer en hauteur sur une étendue de $0^m,4$ à $0^m,5$. Généralement on écrit une seule ligne dans cet espace et l'on fait avancer le papier lorsqu'on est arrivé au bout. Pour effectuer le déplacement dans le transmetteur, on ramène le crayon dans une position de repère située dans la marge gauche ; on déclenche un arrêt et on agit sur une manette articulée à l'extrémité d'une tringle ; la traction exercée sur cette tringle déplace, d'une part, un commutateur et, d'autre part, met en jeu un cliquet qui agit sur le cylindre portant le papier et le fait tourner d'un septième de circonférence, le cylindre supérieur est entraîné par frottement ; un second cliquet, sur lequel appuie un ressort vient alors en prise avec le cylindre entraîneur et l'empêche de rétrograder lorsqu'on abandonne le levier ; dans ces conditions, la tringle sollicitée par un ressort antagoniste revient à sa position primitive, mais le papier qui a été entraîné dans la première partie du mouvement demeure tendu entre les deux laminoirs.

Le commutateur, dans cette opération, a amené les fils impairs en communication directe avec les pôles des piles positive et négative.

Avancement du papier dans le récepteur. — Dans

ces conditions, le courant n'est réduit sur aucune d'elles et les deux relais *h* et *k* fonctionnent simultanément. La figure 5 montre que, lorsque les armatures de ces relais sont abaissées ensemble, le courant local est fermé sur un électro *u*. Cet organe (*fig.* 6) est formé

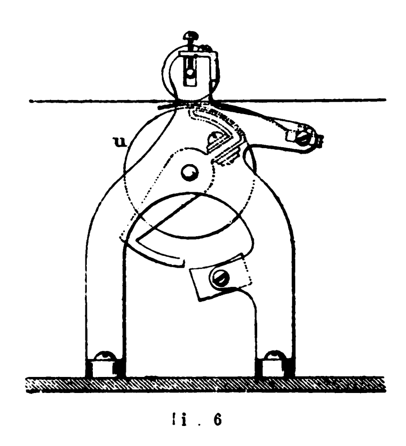


Fig. 6

d'une longue bobine cylindrique mobile autour de son axe et pouvant agir à la fois sur deux armatures; l'une est une barre de fonte faisant partie du socle en regard desquelles se trouvent deux pièces polaires prolongeant le noyau suivant un rayon à chaque extrémité; lorsque le courant aimante ces pièces, elles sont attirées par la barre, se déplacent et font effectuer à toute la bobine une rotation d'un septième de circonférence; l'autre armature est un cylindre de fer qui est situé du côté opposé du papier et constitue, avec le corps même de la bobine entouré d'une couche de caoutchouc légèrement strié, un laminoir d'entraînement; lorsque cette dernière bobine est parcourue par un courant, le cylindre est attiré, il presse sur le papier et peut ainsi suivre le mouvement que lui imprime la rotation par-

tielle de la bobine ; l'avancement du papier est alors égal à celui qui se produit dans le transmetteur ; lorsque cette opération est terminée et que le courant local est interrompu, un ressort antagoniste ramène l'électro à sa position normale.

Moteur. — L'inventeur a imaginé divers positifs pour communiquer aux axes xy, $x'y'$ un mouvement de rotation continu. Dans les appareils antérieurs, il a eu recours à un ou deux moteurs à poids ; dans le type actuel, il emploie une petite dynamo, actionnée par un courant local ; cette machine exerce sur les transmissions élastiques qui la relient à chacun des axes une tension croissante ; lorsque cette tension atteint une certaine valeur, un interrupteur coupe le circuit de la pile et le moteur s'arrête ; les axes continuent néanmoins à tourner, leur torsion diminue et lorsqu'elle s'abaisse à un certain minimum, la communication avec la pile se rétablit et la dynamo fonctionne de nouveau.

Un seul moteur suffit à actionner r et r', il agit sur les deux axes à la fois, mais comme leur vitesse de rotation est limitée par les oscillations de l'ancre d'échappement et que dans certaines excursions de la plume une des tiges ne varie pas de longueur, il peut se faire que l'une des transmissions élastiques se détende et que l'autre demeure tordue ; un dispositif permet, dans ce cas, à l'organe élastique le plus tendu de céder une partie de sa tension à l'autre ; il suffit, par conséquent, pour que le moteur doive marcher ou s'arrêter, que l'ensemble des deux axes possède une tension déterminée.

La dynamo est formée de deux électro entre lesquels tourne une armature à trois bobines ; le courant est amené par des balais frottant sur des bagues montées

sur l'axe, mais traverse un interrupteur. L'axe est terminé par une vis sans fin *v* qui engrène avec une roue dentée *o* pivotant entre les extrémités des axes *xy*, *x'y'*. L'axe du moteur est formé de deux segments réunis par un ressort à boudin ; ce dispositif donne une certaine élasticité au système, et en plus permet à la vis sans fin de se déplacer d'une petite quantité parallèlement à elle-même. Or, dans ce déplacement, son extrémité peut venir en prise avec un petit bras isolé portant un interrupteur de circuit ; un ressort réglable permet d'agir sur ce bras de manière à l'appliquer sur le butoir de travail, malgré l'action de l'axe du moteur.

Les axes *xy*, *x'y'* sont pourvus chacun d'une roue d'angle *z* et *z'* parallèle à la roue *o* ; ils sont sectionnés en deux parties reliées par de longs ressorts à boudin, ce sont ces ressorts qui forment entre les manchons *r*, *r'* et les roues *z* et *z'* les transmissions très élastiques dont il a été parlé plus haut. Ces roues participent au mouvement de la roue *o* par l'intermédiaire d'une troisième roue d'angle *w*, sorte de satellite de la roue *o*, mobile autour d'un axe situé dans son plan et placée dans une cavité creusée normalement dans cette même roue. Ce système constitue un équipage différentiel qui répond au but proposé. On voit d'abord que si les deux transmissions élastiques n'ont pas de torsion ou ont des tensions égales, la roue *w* n'agit que comme le ferait une clavette placée sur l'axe commun des trois roues *o*, *z*, *z'* ; les deux dernières sont entraînées par la première et la roue *w* n'est sollicitée à tourner dans aucun sens.

Remarquons immédiatement que dans cette transmission de mouvement, si les axes résistent la roue *o*

réagit sur la vis tangente et tend à l'amener à l'avant de la figure, c'est-à-dire exerce sur la vis un effort contraire au ressort de l'interrupteur de circuit. Tant que la pression de ce ressort est supérieure à la réaction des axes, le contact de la pile du moteur demeure établi ; lorsque la réaction des axes l'emporte, ce contact est rompu et le moteur s'arrête. Les axes se détordent peu à peu entraînant toujours les manchons r et r' et la tension diminuant, le circuit se ferme de nouveau.

Si l'un des axes xy ou $x'y'$ est soumis à un effort de torsion notablement différente de l'autre, la roue w ne se maintient plus immobile, elle tourne autour de son pivot, laissant en place celle des roues z ou z' qui résiste le plus et communiquant à l'autre une vitesse supplémentaire ; le moteur n'agit plus ainsi que sur une des roues, et même si le moteur est débrayé l'un des axes peut tourner dans un sens et l'autre en sens contraire ; la torsion s'équilibre donc automatiquement et l'action sur l'interrupteur s'exerce sans préjudice de la rotation de l'un ou l'autre manchon.

Accessoires de l'installation. — Un poste complet comprend un transmetteur et un récepteur ; les fils se prolongent à travers le transmetteur avant d'arriver au récepteur, de telle sorte qu'un correspondant peut interrompre la transmission de l'autre en agissant sur son crayon. Pour mettre l'appareil en marche, il faut d'abord déclencher l'interrupteur général de pile, ce qui se fait en ramenant le crayon en marge à la position de repère ; la plume se trouvant dans une situation identique, l'appareil récepteur peut fonctionner sans même que le correspondant assiste à l'opération ; lorsqu'on veut éveiller son attention, on appuie sur

une clef d'appel que porte le transmetteur, le courant actionne alors une sonnerie à l'arrivée.

Piles. — Chaque poste exige deux piles de ligne distinctes, d'un même nombre d'éléments, et en communication avec la terre par les pôles de noms contraires ; les émissions n'ayant aucun rapport entre elles, il peut arriver que les quatre fils puisent successivement ou simultanément à la même pile ; pour que les courants de transmission ne soient pas affectés par cette simultanéité, il faut que les piles aient une résistance très faible par rapport à celle des lignes et des électro qu'elles desservent. M. Gray emploie des accumulateurs. De semblables batteries peuvent même fournir les courants locaux nécessaires au fonctionnement du récepteur (moteur, mouvements de la plume, progression du papier, polarisation des relais). Toutefois, pour éviter l'usure inutile, les circuits locaux ne sont pas fermés en permanence, mais seulement lorsque le poste correspondant travaille ; à cet effet, indépendamment des fonctions qu'il remplit déjà, le courant des lignes 2, 3 et 4 actionne encore les électro d_2 d_3 d_4, qui agissent sur le fermeur général de circuits locaux ; comme l'un au moins des trois fils ci-dessus est parcouru par un courant, lorsqu'on manœuvre le transmetteur, les circuits locaux sont toujours fermés lorsque les organes correspondants doivent fonctionner ; lorsqu'on enclenche l'arrêt du transmetteur, aucun courant n'est envoyé sur les fils, le fermeur général interrompt la communication dans le récepteur.

Réglage. — Nous ne dirons rien de l'ajustage ni du réglage mécanique des divers organes ; nous ferons remarquer seulement qu'on a étudié la forme des pièces qui doivent effectuer des mouvements rapides de ma-

nière à réduire au minimum leur inertie ; la commande magnétique, qui donne dans le transmetteur de bons contacts avec des pièces très légères est, à ce titre, très ingénieuse. L'armature de l'échappement est réglée une fois pour toutes, de manière à donner lieu à un jeu aussi étroit que possible ; la forme des dents est telle que lorsque l'ancre entre en prise avec l'une d'elles, le mouvement s'achève seul, alors même que l'électro a cessé d'agir. La tension du fil sur les poulies folles et les poulies de renvoi est déterminée par l'action qu'un ressort exerce sur la chape d'une de celles-ci ; cette tension doit être telle que le fil ne glisse pas sur les poulies mais n'arrête pas le mouvement ; si le courant à l'arrivée n'est pas suffisamment énergique pour appliquer le manchon sur les poulies, l'embrayage n'est que partiel ; il dure trop longtemps si le courant est trop puissant ; des corps gras ou des frottements parasites peuvent également faire patiner le fil qui alors ne reproduit plus toutes les orientations des tiges du transmetteur. Il n'a pas paru nécessaire de réaliser un dispositif permettant de régler l'attraction de l'ancre ni celle du manchon sur les poulies ; on détermine la force électromotrice de la pile de manière qu'elle produise l'effet cherché sur les fils qu'on veut utiliser ; il faut environ 1 volt par 12 ohms de résistance pour les lignes inférieures à 200 ohms, et 1 volt par 16 ohms au delà. Les relais *l*, *k*, *d*, doivent être réglés en agissant sur des ressorts antagonistes. Les résistances qui réduisent l'intensité au départ pour produire le soulèvement ou l'abaissement de la plume doivent être graduées suivant la résistance de la ligne.

Déformation de l'écriture. — Si l'on se reporte à

l'analyse du mouvement des vecteurs donnée plus haut, on voit que, pour qu'un élément de l'écriture soit transmis, il faut qu'il corresponde à un déplacement de la roue E au moins égal à une dent, tout mouvement inférieur à cette valeur ne donnera pas lieu à une émission; il faut, en outre, que la durée de cette émission soit suffisante pour que l'ancre d'échappement puisse fonctionner; l'émission suivante n'est efficace que si l'armature a eu le temps de se porter sur le butoir opposé et si la roue d'échappement a pu tourner de l'angle correspondant à une dent; les émissions se succédant trop rapidement ne produiraient pas d'effet utile; la limite de leur fréquence dépend de l'inertie mécanique et magnétique des diverses pièces et des éléments électriques de la ligne.

De même, pour que l'inversion du mouvement d'une tige change le sens de déplacement de la tige correspondante, il faut non seulement que ce mouvement ait assez d'amplitude pour que le levier transmetteur soit entraîné par l'axe sur le butoir opposé, malgré l'élasticité et le glissement des pièces, mais encore que la durée de l'émission qu'il produit soit suffisante pour renverser la polarité de l'électro récepteur, mettre l'embrayage sur la poulie opposée, arrêter le mouvement du fil et provoquer un mouvement inverse, malgré le magnétisme résiduel des pièces de fer et l'inertie des organes. En un mot, les déplacements trop faibles ou trop rapides ne peuvent pas être transmis intégralement; l'écriture pourra donc être déformée si elle est tracée par des mouvements saccadés ou si elle contient des caractères trop fins.

Cette analyse montre les difficultés que comporte la réalisation matérielle du problème, malgré la simpli-

cité apparente de la solution de ses divers éléments. En fait, la forme et les dimensions des divers organes ont été si bien déterminées que des déplacements très petits sont transmis; dès qu'un opérateur a pu triompher des hésitations du premier moment, il peut écrire sans difficulté; l'écriture retracée à l'arrivée est presque rigoureusement superposable à l'originale.

Rendement. — Ce qui vient d'être dit montre qu'*a priori* le télautographe ne peut être qu'un appareil à très faible rendement; la reproduction d'une lettre comporte de nombreuses émissions de courant, alors que la plupart des appareils à transmission rapide n'en exigent qu'une ou au plus cinq. Il est même intéressant de rappeler que c'est en étudiant son appareil autographique que Meyer a été conduit à réaliser le premier appareil à transmission multiple; à ce titre, la *télautographie*, si elle abordait le même problème que la *télégraphie*, serait donc en position très désavantageuse et semblerait plutôt un recul qu'un progrès : mais elle peut répondre à des besoins différents.

L'appareil d'Elisha Gray a été expérimenté, à Paris, au Laboratoire de l'Administration des Télégraphes sur des lignes artificielles atteignant chacune 900 ohms de résistance et 11 microfarads de capacité. Ce dernier élément n'a pas paru apporter de perturbations fâcheuses, au moins dans les limites où les expériences ont été effectuées. Les bobines des appareils utilisés contenaient un trop petit nombre de tours de fil pour qu'il ait paru intéressant de pousser plus loin ces essais de laboratoire.

L'appareil a été alors mis en ligne et essayé le 15 décembre dernier, entre Paris et Londres, sur les quatre conducteurs affectés à la téléphonie. Chacun

d'eux présente une résistance d'environ 700 ohms et une capacité de 6 microfarads. Les piles employées avaient une force électromotrice de 57 volts et une résistance intérieure de 35 ohms. La communication a été parfaite après un réglage insignifiant; on a pu échanger des correspondances à la vitesse moyenne de l'écriture courante, c'est-à-dire d'environ 34 mots par minute.

Ce rendement est donc très faible, surtout si l'on tient compte de l'excellente qualité des conducteurs utilisés. Il n'est pas douteux qu'en employant les deux courants, on puisse desservir de pareils fils avec des appareils multiples à très grand rendement. Des Baudot sextuples tournant à 180 tours par minute transmettraient environ 720 mots, c'est-à-dire 21 fois plus.

Avenir du télautographe. — Ces résultats semblent prouver que, tel que nous l'avons sous les yeux, le télautographe n'est pas encore parvenu au degré de perfectionnement qui lui permettra de prendre rang dans notre outillage télégraphique. Il fournit néanmoins une réalisation très remarquable de la question proposée, toute considération de trafic étant écartée. Chaque élément du problème a été bien étudié et très élégamment résolu.

Notre conclusion serait tout autre si l'appareil pouvait fonctionner aussi correctement avec deux fils qu'avec quatre, car il deviendrait alors le complément des installations téléphoniques dont il pourrait utiliser les conducteurs. De même que le téléphone, il resterait un appareil à faible rendement, qui ne saurait être comparé, à ce point de vue, avec nos machines industrielles à transmission multiple, mais qui remplirait un autre but. Le transport télégraphique de l'écriture

répond-il à un besoin réel? Il est difficile de formuler un avis sur cette question; les besoins naissent et se multiplient en même temps que les moyens de les satisfaire se développent.

M. Elisha Gray a récemment imaginé, paraît-il, un appareil qui nécessite seulement deux conducteurs. Nous n'avons aucun renseignement sur le principe de ce nouveau télautographe. Cet appareil serait, dit-on, assez simple pour pouvoir être mis à la disposition du public d'une ville, comme l'est actuellement le téléphone; les lignes aboutiraient à un bureau central qui établirait les communications entre abonnés comme on le fait actuellement pour les conversations. Si la ligne était libre, il ne serait pas indispensable que le correspondant fût ou non devant son appareil, l'expéditeur pourrait tracer l'information qu'il désire transmettre. Le correspondant en prendrait connaissance à loisir sans interrompre ses occupations actuelles. Lorsqu'une réponse immédiate ne serait pas nécessaire, les pertes de temps qu'entraîne l'usage du téléphone seraient beaucoup réduites. Un autre avantage de ces appareils consisterait dans le secret des transmissions : une personne pourrait recevoir ou transmettre un avis par télautographe sans qu'un visiteur en eût communication; les effets d'induction si fâcheux dans les téléphones n'auraient ici aucune importance; en un mot, le télautographe se présente en parallèle avec le téléphone, chacun ayant ses avantages particuliers, sans que l'un exclue l'autre. Il appartiendra au public de se prononcer en faveur du système ou de le repousser s'il ne répond pas à une nécessité réelle.

J. VOISENAT.

MISSION TÉLÉGRAPHIQUE A EL GOLÉA

(Suite) (*).

II

L'exposé qui précède a appelé l'attention sur les conditions auxquelles doivent satisfaire le tracé des lignes de l'extrême sud de l'Algérie, sur les difficultés que présente le creusage et surtout sur les défectuosités des moyens de transports; la forme du matériel est d'ailleurs intimement liée à cette dernière question. L'importance de chacun de ces points croîtra à mesure qu'on s'avancera davantage dans le Sahara.

Les lignes devront, dans les régions très éloignées, se prêter à une surveillance facile de jour et de nuit, car la marche pendant le jour est presque impossible pendant une partie de l'année au delà d'une certaine latitude; pour ce motif, le tracé devra suivre les pistes d'aussi près qu'il sera possible et éviter les points d'accès difficile; cette précaution sera surtout importante si l'on utilise, comme il sera proposé plus loin, des conducteurs de petit diamètre dont la visibilité sera moindre que celle des fils de fer employés jusqu'à présent.

Pour le creusage, les ateliers devront, outre l'outillage normal, être pourvus des moyens de réparation

(*) Voir page 379.

suffisamment abondants pour qu'aucun retard ne survienne par suite de la détérioration des outils. Des appareils spéciaux permettant de creuser dans le sable (grands manchons cylindriques ou caisses rectangulaires en tôle) devront compléter cet outillage. Enfin, pour le forage dans le rocher très dur, un approvisionnement d'explosifs et d'accessoires de mine sera nécessaire (*).

M. Sins, qui a établi un grand nombre de lignes en Tunisie, n'a pas employé le chameau pour les transports, l'essai qu'il a fait de cet animal ne lui ayant pas donné de résultats satisfaisants. Il a utilisé constamment les charrettes maltaises nommées *arabas*, très répandues en Tunisie; on plaçait uniformément six poteaux sur chacune; les isclateurs, le fil, l'outillage et le campement étaient répartis en surcharge sur les différentes voitures du convoi. Elles étaient attelées d'un seul cheval, et suivaient les routes, quand il s'en trouvait dans les régions parcourues, ou cheminaient dans le désert lorsque les voies tracées faisaient défaut. On les déchargeait ou on les allégeait dans les passages par trop difficiles, lorsqu'un coup de main aux roues ne permettait pas de les franchir. La marche était d'environ 40 kilomètres par jour.

C'est le service télégraphique qui fit pénétrer les premières charrettes dans le sud de la Tunisie où il

(*) Nous avons signalé plus haut les bons résultats obtenus en France avec la dynamite. Il convient de faire une remarque au sujet de l'emploi de cette substance, pour éviter des accidents si on la transportait par une température élevée. Dans ce cas, la nitroglycérine exsude de son véhicule terreux et peut faire explosion au moindre choc.

La mélinite, qui possède les propriétés brisantes de la dynamite, ne présente pas cet inconvénient; on peut transporter ses cartouches sans aucune espèce de précaution, y enfoncer des clous à coups de marteau sans provoquer l'explosion, la température n'exerce sur elle aucune influence fâcheuse.

n'existait aucun chemi ; depuis, l'autorité militaire a procédé de même.

Dans la province d'Alger, l'araba n'existe pas, les chevaux sont rares dans le Sud, l'orge nécessaire à leur nourriture coûte cher, enfin le transport de l'eau à certains gîtes d'étapes peut compliquer encore la question. Ces réserves faites, il y a lieu de tenir grand compte de l'opinion de M. Sins. Cet ingénieur pense qu'il y aurait avantage à effectuer les transports du matériel télégraphique par voiture plutôt que par chameaux. Si l'on tient compte, en effet, du prix élevé de la journée d'un chameau qui ne porte que deux poteaux, des frais de chameliers, des frais de retour, de la courte distance parcourue quotidiennement et surtout de l'usure du matériel, on arrive à conclure qu'il doit exister dans l'extrême sud une limite, sans doute au delà de Ghardaïa, et dans laquelle il y aurait intérêt à employer des poteaux de bois transportés par charrettes, plutôt que de recourir aux poteaux métalliques démontables dont on pourrait charger les chameaux, mais dont le prix serait plus élevé.

Les véhicules et les animaux de trait n'existant pas dans cette région, les opérations devraient être préparées suffisamment à l'avance pour que des entrepreneurs pussent s'outiller convenablement; il suffirait probablement, pour démontrer la possibilité d'une organisation procédant de ces idées, de quelques voitures avec les animaux de trait correspondants; la dépense qu'occasionnerait un essai de ce genre ne saurait être bien considérable.

Au sud de cette limite, le transport des fourrages et de l'eau deviendrait trop onéreux et peut-être la mortalité des équipages trop considérable; il faudrait

alors recourir au chameau et à un matériel plus facile à transporter que celui qui a été utilisé jusqu'ici. Avant de passer à la description de ce matériel, il convient de s'arrêter encore à la question des poteaux de bois.

On a employé pour la construction des lignes du sud de l'Algérie des poteaux de pin indigène provenant de forêts situées à l'ouest de Djelfa; ces forêts sont, pour le moment, presque complètement épuisées et l'approvisionnement utilisé pour la construction de la ligne d'El-Goléa avait été constitué au moyen d'arbres tirés des landes de Gascogne.

Ceux-ci sont d'une belle venue, généralement de fortes dimensions, assez droits, sans être absolument rectilignes; leur bois est tendre et leurs nœuds peu nombreux; exposés au soleil ils travaillent beaucoup et se fendillent jusqu'au cœur. Les poteaux de Djelfa sont minces, le diamètre au sommet est faible, mais le bois est plus dense, plus nerveux, les nœuds sont plus nombreux, les effets de la dessiccation sont moins accentués que dans les premiers. Quoique la résistance mécanique de ces appuis soit inférieure à celle des poteaux venus de France, en raison de la grande différence de diamètre, ils semblent préférables à ces derniers à cause de la qualité du bois ; ils paraissent moins exposés à la désagrégation des fibres sous l'influence de la sécheresse, et susceptibles par conséquent de fournir un plus long service. La densité plus considérable des bois doit rendre l'injection plus difficile en Algérie qu'en France et par suite exiger de plus grands soins (*).

(*) Le pin d'Alep des forêts de Djelfa atteint, en 30 ans, un diamètre de 15 centimètres, tandis que le pin maritime qui croît dans les Landes acquiert cette grosseur au bout de 18 années seulement; la croissance moins rapide,

L'emploi de fil de petit diamètre, dont il sera question plus loin, permet d'ailleurs d'augmenter la tolérance pour la dimension des poteaux sans modifier les conditions de stabilité des lignes.

Les ressources de la forêt de Djelfa, où l'administration avait autrefois des chantiers d'injection, sont momentanément épuisées ou presque épuisées, mais la création récente de plusieurs lignes de chemin de fer a modifié la situation économique de l'Algérie; il y avait donc lieu de se demander si ces nouvelles voies n'ont pas rendu exploitables des régions forestières qui, jusqu'alors n'avaient pu l'être, faute de moyens de communication.

M. Bert, administrateur des forêts, qui a fait un long séjour en Algérie, a bien voulu me fournir quelques indications à ce sujet.

Il n'y a pas de forêts dans le sud de l'Algérie : le *Djebel-Amour* est peu boisé; on y rencontre pourtant quelques croupes garnies de pins, mais ces bois de faibles étendues sont trop éloignés des régions où l'on pourrait les utiliser et ne semblent pas susceptibles de se prêter à une exploitation importante.

Le massif de l'*Aurès*, au contraire est couvert de forêts de pins d'Alep qui, jusqu'à présent ne sont pas exploitées, ces bois ne trouvant pas d'acquéreur; une petite quantité seulement de ces arbres a été vendue récemment pour l'exploitation de l'écorce. Ces forêts existent notamment entre *Batna* et *Tebessa*. Or Batna est sur la voie ferrée de Constantine à Biskra et il

si elle ne provient pas d'une cause maladive, a généralement pour conséquence une plus grande densité du bois et une plus grande résistance des fibres; les premiers arbres poussent d'ailleurs dans une région beaucoup plus sèche que celle où vivent les pins maritimes.



existe un chemin praticable de Batna à Khenchela et peut-être même jusqu'à Tebessa. De plus le versant sud de l'Aurès est également boisé et plusieurs routes ou pistes conduisent à Biskra. Il y a d'ailleurs dans cette région des chevaux et des mulets, et l'on trouverait vraisemblablement des moyens de transport pour amener les poteaux préparés à une distance de 50 et même de 100 kilomètres.

Plus à l'ouest, entre Batna et le *Bou-Thaleb*, on rencontre quelques pins d'Alep et des chênes verts qui pourraient à la rigueur être utilisés, mais l'essence dominant est le cèdre. Ce bois a été employé autrefois avec grand succès, sans aucune préparation ; les lignes ainsi établies ont été incendiées pendant l'insurrection de l'Aurès et l'on n'a pu dès lors se rendre compte de la durée de conservation des appuis, qui semble néanmoins devoir être assez longue. Il convient cependant de remarquer que les forêts dont il est question contiennent surtout des pièces de 30 à 35 centimètres de diamètre et peu d'arbres de la dimension normale des poteaux télégraphiques; toutefois, comme ces bois sont exploités par l'industrie, il serait peut-être possible de se procurer des sommets d'arbres dans de bonnes conditions; les appuis ainsi obtenus, plus forts que les brins de pin, pourraient être employés dans des cas spéciaux.

Au Bou-Thaleb, on rencontre des chênes de France et des genévriers inutilisables, et des pins en quantité peu considérable.

Entre *Bou-Saada* et *Djelfa*, il existe des forêts de pins qui ne sont exploitées que par des indigènes, dont les besoins sont d'ailleurs peu importants. Une piste accessible aux voitures relie ces localités.

A l'ouest de Djelfa se trouvent les forêts dont il a été question plus haut, mais où il n'y a plus pour le moment que quelques milliers d'arbres susceptibles d'être transformés en poteaux.

Dans la province d'Oran, on rencontre des forêts aux environs d'*Ammi-Moussa* et entre *Mascara* et *Tiaret* et à *Tiaret* même. Ces forêts contiennent des pins d'Alep et des chênes verts. Mascara étant relié à la ligne de chemin de fer d'Oran à Aïn-Sefra et quelques routes existant dans les environs, ces forêts paraissent exploitables en vue de la création de lignes dans l'extrême sud.

Ce rapide exposé montre qu'il y aurait intérêt :

1° A rechercher dans quelles conditions de prix il serait possible d'exploiter, injecter et transporter à Batna et à Biskra les pins provenant des deux versants de l'Aurès et éventuellement quel parti on pourrait tirer des cèdres des environs du Bou-Thaleb;

2° A rechercher de même les moyens d'installer à Mascara, ou dans une gare mieux située, un dépôt semblable destiné aux constructions du Sud oranais ;

3° A examiner le parti qu'on pourrait tirer pour le centre de l'Algérie de la création d'un dépôt à Tiaret.

Pour rester dans le cadre de cette étude, remarquons que l'organisation de ces dépôts amènerait l'usage dans ces régions de voitures organisées pour les transports à travers les coupes et sur les pistes d'exploitation, c'est-à-dire dans de très mauvais passages ; ces véhicules pourraient sans doute être utilisés au moment d'une construction, sinon à distribuer à pied d'œuvre, au moins à rapprocher le dépôt de la base d'opération. Cette organisation, créée dès maintenant, serait donc de nature à faciliter singulièrement

les opérations ultérieures. Rappelons encore que dans ces pays, ce qui importe avant tout, c'est de vaincre la résistance à la nouveauté; au cas où l'on rencontrerait des difficultés pour effectuer les transports et exploiter ces forêts, il y aurait peut-être lieu d'acheter quelques voitures et les animaux nécessaires à leur traction.

Puisque la plus grande dépense d'établissement des lignes de l'extrême Sud réside dans les frais de transport, il y a lieu de chercher à alléger autant que possible les matériaux de construction (*).

Jusqu'à présent on a employé, comme conducteur, dans le Sud algérien du fil de fer de 3 millimètres. Ce fil est à bon marché, il est facile à manier, mais sa conductibilité est faible et sa self-induction notable; il formera donc, surtout si on l'emploie avec des appuis métalliques sur lesquels les dérivations sont plus fâcheuses que sur les poteaux de bois, un conducteur imparfait pour la télégraphie et très médiocre pour la téléphonie. Or, il semble que plus on avancera dans le Sud, plus il sera nécessaire d'utiliser le téléphone concurremment avec le télégraphe. Enfin, non seulement le fil de fer présente un poids élevé pour une conductibilité pratique, mais encore il exige l'emploi d'appuis plus solides, et partant plus lourds que ceux qui suffiraient avec un fil plus léger et de meilleure conductibilité.

On fabrique aussi des fils avec un nombre relativement considérable de métaux et d'alliages, fer, cuivre,

(*) La plupart des renseignements qui vont suivre sont extraits du rapport d'une commission chargée par la Direction générale des Postes et des Télégraphes d'étudier les conditions dans lesquelles il y aurait lieu d'établir les lignes de l'extrême sud de l'Algérie et composée de MM. Wunschendorff, président, Clérac, Barbarat, Massin, Pomey, Sins et Voisenat.

bronze non homogène, bimétal Martin, aluminium. Le bimétal, qui permet d'obtenir une bonne conductibilité avec une grande résistance mécanique, et l'aluminium qui unit un faible poids à une grande conductibilité, méritent de fixer l'attention.

On n'est, jusqu'à présent, qu'imparfaitement fixé sur la durée de la pellicule de cuivre qui recouvre l'âme d'acier d'un fil bimétallique de petit diamètre, ainsi que sur la manière dont il se comporterait pour la téléphonie à longue distance. L'aluminium n'avait, jusqu'à ces derniers temps, pu être soudé qu'avec de grandes difficultés; il semble que cette question soit résolue aujourd'hui, mais le procédé n'a pas encore reçu la consécration de la pratique. Pour ces motifs, l'aluminium et le bimétal doivent être provisoirement écartés. Il ne semble pas d'ailleurs que des lignes situées à une distance aussi considérable doivent être traitées comme champ d'expérience; on pourra donc revenir sur cette question lorsque des essais complets auront été effectués en France. Dans cet ordre d'idées, le conducteur qui paraît pouvoir être préconisé est le bronze de 2 millimètres répondant à la spécification suivante :

Résistance électrique.	10 ohms.
Charge totale de rupture	228 kilog.
Poids kilométrique.	29 kilog.

La conductibilité, sensiblement plus élevée que celle du fil de fer de 3 millimètres, fournirait une bonne ligne pour la télégraphie et la téléphonie, et présenterait un écoulement facile à l'électricité atmosphérique; la fusion du fil par la foudre serait donc peu à craindre. Le poids, moitié moindre que celui du fil de

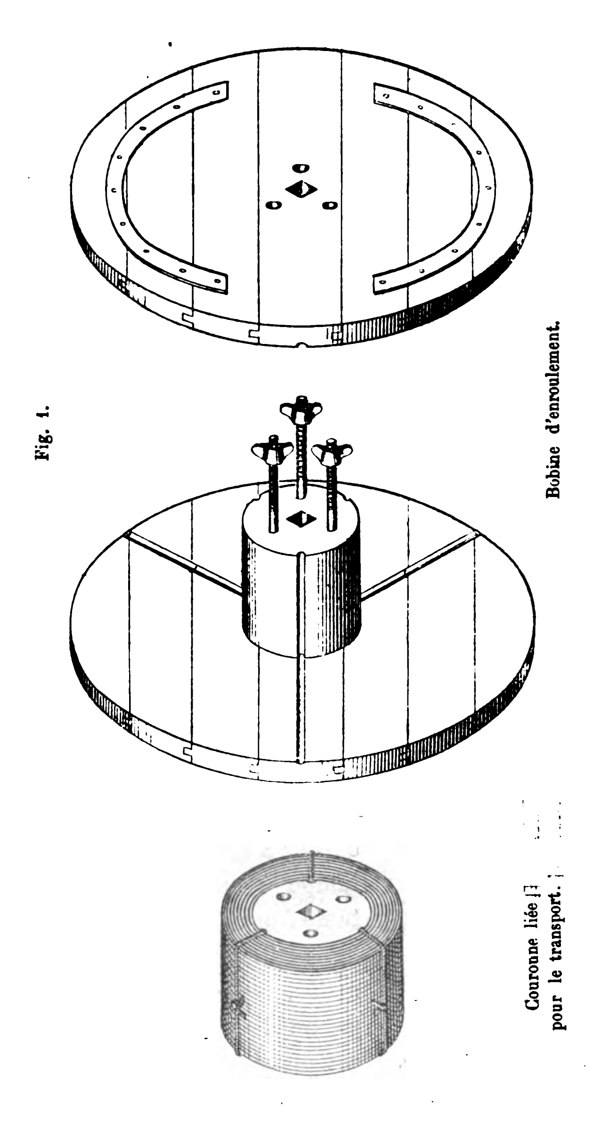
fer, permettrait d'employer un appui léger. La résistance mécanique semble assez considérable pour qu'il n'y ait pas lieu d'appréhender la rupture par le grand vent ou par suite du déréglage de la ligne.

L'emploi du bronze exige des précautions spéciales, on ne peut le faire voyager en couronnes nues ni le dérouler à l'épaule comme on le fait pour le fer : la moindre érosion produit un point faible qui peut amener la rupture, et les coques se forment rapidement si on n'effectue pas le déroulement avec soin et méthode. Les dispositions suivantes permettront d'éviter ces inconvénients.

Le fil serait enroulé à l'usine ou au magasin après réception sur des bobines en bois démontables; après l'enroulement, on enlèverait les joues et on laisserait le noyau au milieu de la couronne; pour éviter d'ailleurs la déformation de celle-ci au moment de la séparation des joues, on l'attacherait au préalable par trois liens puissants qui assureraient la fixité des diverses spires.

La *fig.* 1 représente cette bobine. Le noyau est formé d'une rondelle de sapin de 15 centimètres de diamètre et de 10 centimètres d'épaisseur. Les joues sont en chêne et sont consolidées suivant la perpendiculaire aux fibres par deux arcs de tôle vissés à l'extérieur. Trois boulons pourvus d'écrous à oreilles permettent de monter ou de démonter les joues.

Les liens sont constitués par un fil de fer de 4 millimètres entouré d'un tube en plomb de 2 millimètres d'épaisseur qu'on serre à l'aide d'un étau à main; le plomb pénètre un peu dans les saillies de la couronne et l'ensemble est très compacte et très fixe. Chaque couronne pèserait 29 kilogrammes et représenterait



par conséquent un kilomètre de fil de 2 millimètres. Trois couronnes placées dans une caisse formeraient

un colis d'une centaine de kilogrammes, c'est-à-dire la moitié du chargement d'un chameau.

Pour dérouler, on reconstitue la bobine en rapportant des joues qui peuvent servir jusqu'à usure ou accident. On coupe les liens et on introduit un axe horizontal que deux ouvriers saisissent chacun par une extrémité. Le fil foisonne peu et en déroulant sous une tension modérée qu'un ouvrier règle en appuyant un peu sur une joue de la bobine, il ne se forme pas de coques.

Le poids des couronnes est un peu élevé, mais ne dépasse pas les forces des ouvriers; par contre, leur longueur permet de réduire notablement le nombre des soudures à effectuer par les ateliers. Le petit nombre qui resterait à faire justifierait peu la présence d'un soudeur et de ses accessoires, fourneau, fer, provision de charbon, etc.; le dispositif suivant, qui réduit à un faible poids l'outillage de soudure, permettrait de confier la jonction des fils aux ouvriers dérouleurs.

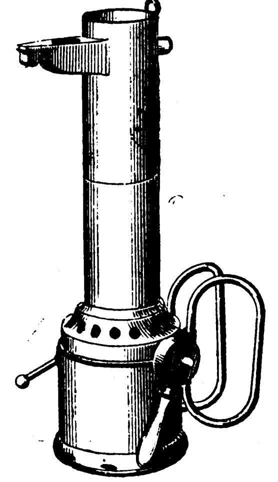
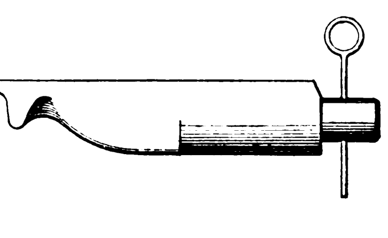


Fig. 2. — Lampe à souder.

Cet appareil est une sorte de cuiller à souder chauffée par une lampe à essence minérale système *Paquelin* (*fig.* 2) (*). La cheminée de cette lampe est droite; le fer, représenté par la *fig.* 3, est un bloc de cuivre dont le talon est en contact avec la flamme, et dont la partie antérieure, terminée par une sorte

(*) Cette cuiller à souder a été réalisée par M. Pecquet, mécanicien au laboratoire de l'École supérieure des postes et des télégraphes.

de bec, est creusée d'une cavité. Un petit conduit partant du fond de cette sorte de capsule aboutit au bec. Il suffit de quelques minutes pour amener la pièce de cuivre à la température convenable; on introduit, dans la cavité, une pastille de soudure dont le poids a été déterminé par expérience, et, lorsqu'elle est en fusion, on la verse sur le manchon à souder; le bec de la cuiller est profilé de telle sorte qu'il prenne un point d'appui sur le manchon. Pour effectuer cette opération, on transporte le fer sans l'enlever de la lampe, c'est-à-dire qu'on prend la lampe elle-même à la main; son mode particulier de construction permet de la manœuvrer dans tous les sens sans nuire à son fonctionnement. La coulée s'opère par le conduit pratiqué entre le bec et le fond de la cuiller; la pellicule d'oxyde qui se forme sur le métal en fusion est retenue par les parois et n'est pas versée sur le manchon; on peut d'ailleurs promener le bec sur la pièce à souder comme on le ferait avec un fer s'il est nécessaire de la réchauffer. L'appareil doit être décapé de temps à autre au moyen de sel ammoniac.



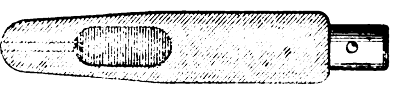


Fig. 3. — Détail de la cuiller à souder.

La lampe Paquelin est alimentée par l'essence de pétrole (gazoline); si elle devait être employée dans des pays très chauds, il conviendrait peut-être de recourir à un produit un peu plus fixe.

Le fil de bronze ne se prête pas, comme le fil de fer,

à l'emploi d'isolateurs blindés. Le but qu'on s'est proposé d'atteindre au moyen de ceux-ci était d'éviter la mise hors d'usage par malveillance. Les porcelaines blanches attirent singulièrement l'attention, mais cette sorte de cible tente plutôt l'adresse des désœuvrés que la malveillance proprement dite. Les isolateurs blindés sont moins visibles que les isolateurs blancs et l'enveloppe de fonte est plus résistante que la cloche de porcelaine, mais l'isolement est médiocre et le poids assez élevé; si donc les rugosités de la fonte qui peuvent user rapidement le fil de bronze ne les faisaient pas rejeter avec ce métal, les considérations relatives à la qualité de la ligne et aux frais de transport suffiraient pour les faire écarter. Il semble qu'on peut se borner à employer les isolateurs en porcelaine, pour fil de petit diamètre, à la condition de diminuer leur visibilité en introduisant une coloration dans la couverte. Le modèle à simple cloche plus léger et plus robuste que celui à double cloche paraît préférable.

Sur les poteaux de bois, la forme de la console est indifférente; la tige en S, très facile à poser, peut sans inconvénient être employée comme à l'ordinaire; avec des appuis métalliques, il est bon de prendre une disposition pour qu'en cas de rupture de la porcelaine, le fil ne vienne pas en contact avec le poteau. L'adoption d'une console en U séparée de l'appui par une plaque isolante permet d'éviter cet inconvénient; le fil doit alors être placé sur l'oreille interne de l'isolateur; si une cause accidentelle l'en détache, il est recueilli par la console et ne cause pas de dérivation à la terre. Ces isolateurs devraient être placés dans des caisses dont le poids total n'excéderait pas 100 kilogrammes.

Un grand nombre de lignes du gouvernement anglais dans les Indes ont été établies avec des poteaux métalliques démontables du système *Siemens;* la création de ce matériel est déjà ancienne; on semble s'être préoccupé de construire un appui incombustible et résistant mieux que le bois à l'action du sol humide à une température élevée, plutôt que d'atteindre une grande légèreté. Cet appui, qui comprend une embase, et un fût en fonte, un tube et une tige supérieure en fer forgé, pèse au moins 90 kilogrammes, il est, par conséquent, notablement plus lourd qu'un poteau de bois de moyennes dimensions.

Les perches télescopiques en fer qu'on emploie dans la télégraphie militaire sont trop faibles et trop courtes pour être avantageusement utilisées dans le Sahara. La longueur de 7 mètres paraît nécessaire pour établir les lignes dans de bonnes conditions ; elle permet de fixer à 100 mètres la portée normale en terrain plat et de placer le fil de petit diamètre hors d'atteinte des cavaliers à mehari et des palanquins portés par les chameaux.

En dehors de ces deux types de poteaux démontables, on a construit un assez grand nombre d'appuis métalliques non démontables ; dans un prochain article nous examinerons la construction et l'utilisation de la matière dans quelques-uns de ces modèles, ainsi que les procédés à l'aide desquels on pourrait les transformer en poteaux démontables; nous nous bornerons ici à décrire le poteau André et à montrer comment ce poteau a été, suivant les indications de la commission, transformé en appui transportable, répondant aux conditions suivantes :

Encastré à $1^{m},50$ de la base, et soumis à une trac-

tion normale de 30 kilogrammes appliquée au sommet, la flèche résultante ne devait pas dépasser $0^{m},06$; le poids total devait être inférieur à 60 kilogrammes et les pièces entrant dans sa confectien avoir moins de $2^{m},50$ de longueur, celle de l'appui monté étant de 7 mètres.

Dans sa forme primitive, le poteau André se compose de quatre cornières d'acier, assemblées au moyen de frettes et de contre-frettes, de manière à constituer un tronc de pyramide mesurant $6^{m},50$ de hauteur, $0^{m},18$ et $0^{m},05$ de côté aux bases inférieure et supérieure. Les cornières ont $0^{m},025$ de largeur d'ailes et sont d'une seule pièce sur toute la longueur, elles sont légèrement recourbées à la partie inférieure de l'appui pour augmenter l'emprise avec le sol. Les contre-frettes sont des manchons carrés en tôle, de $0^{m},30$ de hauteur et dont le diamètre décroît depuis la base jusqu'au sommet de l'appui ; elles déterminent la dimension intérieure du poteau, les cornières s'appuient sur leurs arêtes et sont invariablement fixées par les frettes chassées à refus. Ces frettes sont formées d'un fer plat ployé en carré et dont les extrémités sont soudées à la forge; elles sont au nombre de 14 régulièrement espacées sur la longueur du poteau. Le montage ne comporte ni rivets ni boulons ; le démontage est également facile à opérer, puisqu'il suffit de faire glisser les frettes vers le sommet, mais les montants qui ont la longueur totale du poteau n'en sont pas plus facilement transportables.

Le tableau suivant indiquant la flexion produite par divers poids appliqués au sommet d'un de ces appuis encastré à $1^{m},25$, donne une idée de sa résistance mécanique :

Charge.	20kg	Flèche.	25mm
—	30	—	35
—	40	—	45
—	50	—	55
—	100	—	105

Mais ce poteau n'a que 6m,50 de longueur et son poids est de 72 kilogrammes ; il présente donc un excès de poids et une résistance superflue ; l'épanouissement de la base qui exigerait que la largeur de la fouille soit plus considérable qu'à l'ordinaire, paraît plus nuisible qu'utile.

Le poteau démontable (*fig.* 4) qui dérive de ce type est formé de trois parties ; chacune affecte la forme d'une pyramide tronquée et se compose comme le poteau primitif de quatre cornières réunies par frettes et contre-frettes ; la section des fers entrant dans la composition de chaque segment a été déterminée de manière à ce que le métal travaille à peu près au même coefficient dans chacun d'eux. Les montants de la base mesurent 30/30/5 millimètres ; ceux de la partie moyenne 25/25/4 ; enfin dans la pièce supérieure ils n'ont que 20/20/3. La section de l'appui a 220 millimètres de côté à la base et seulement 60 au sommet.

Pour la jonction des segments (*fig.* 5), les arêtes de chacun d'eux se recouvrent sur une longueur de

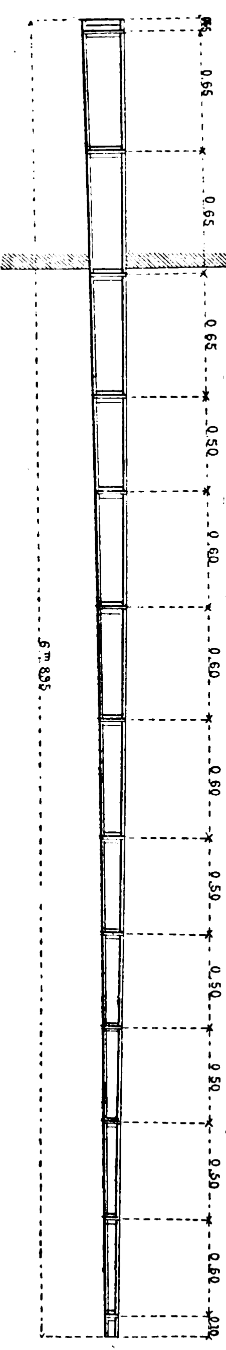


Fig. 4. — Poteau démontable en acier (Échelle 1/50).

120 millimètres ; pour assurer l'invariabilité de l'assemblage, chaque cornière porte un renflement pratiqué à chaud qui permet d'agrafer, en quelque sorte, l'un des fers sur l'autre ; de plus deux bagues en fer forgé glissent sur les deux fers l'une au-dessus, l'autre au-dessous du renflement de manière à assurer la liaison ; enfin, autant pour augmenter la rigidité de l'assemblage que pour s'opposer au déplacement des bagues après la pose, la cornière intérieure est pourvue d'une fourrure en fonte malléable (*fig.* 6). Cette pièce dont la section transversale est celle d'un **T** semblable aux fers de vitrages, s'applique dans l'angle de la cornière par son arête, l'aile présente deux faces inclinées terminées par un ressaut évidé dans

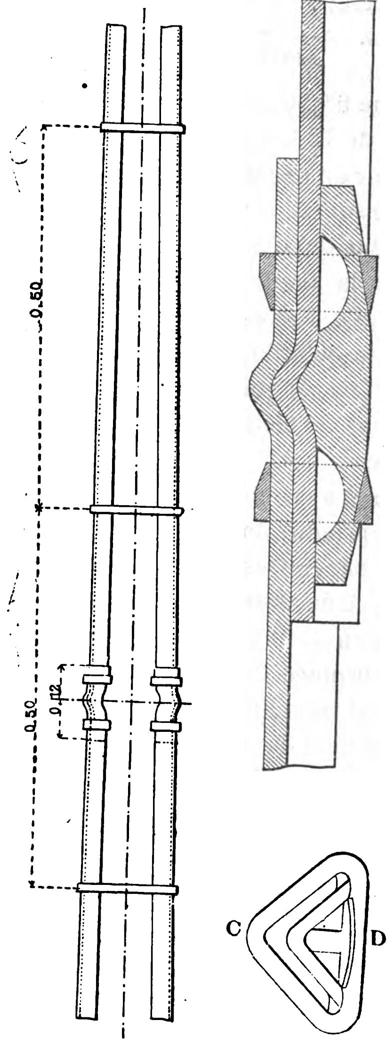


Fig. 5. — Assemblage de deux segments du poteau (Échelle 1/10).

Fig. 6. — Détails de l'assemblage d'un montant (Échelle 1/2).

lequel viendront se loger les bagues. Lorsqu'on chasse celles-ci à coups de marteau, elles déforment la fourrure jusqu'à ce qu'elles aient atteint la position qu'elles doivent occuper; la fourrure revient alors sur elle-même et ses talons d'arrêt ne permettent plus aux bagues de rétrograder. On ne pourrait alors les retirer qu'en agissant très fortement au moyen de tenailles ou d'un étau sur l'extrémité de la fourrure, de manière à la faire ployer de nouveau, mais on peut rendre cette opération impossible en rognant au burin cette extrémité; dans ces conditions, on ne peut enlever une bague qu'en la coupant. Le poteau est donc indémontable après son assemblage, c'est-à-dire offre peu de prise à la malveillance.

A l'exception des épaulements servant à agrafer l'un sur l'autre les montants, les cornières ne comportent aucun autre travail que leur sciage de longueur; on peut, en réunissant un certain nombre entre elles former un paquet rigide, ayant approximativement le poids qu'on désire; leur longueur ($2^m,40$) se prêtera bien au transport à dos de chameau.

Les contre-frettes sont des manchons de tôle (*fig.* 7) rendus rigides par le repliage de la matière aux extrémités sur une longueur d'environ $0^m,01$; les pièces d'essai ont été fixées à la main; dans une fabrication industrielle elles s'obtiendraient par emboutissage. Les divers manchons entrant dans le montage d'un poteau peuvent s'introduire les uns dans les autres, de manière à former un colis n'ayant que les dimensions du manchon de la base.

Les frettes sont en fer méplat chanfreinés sur la face qui doit être placée vers la base de l'appui; cette forme a été adoptée pour rendre plus difficile le dé-

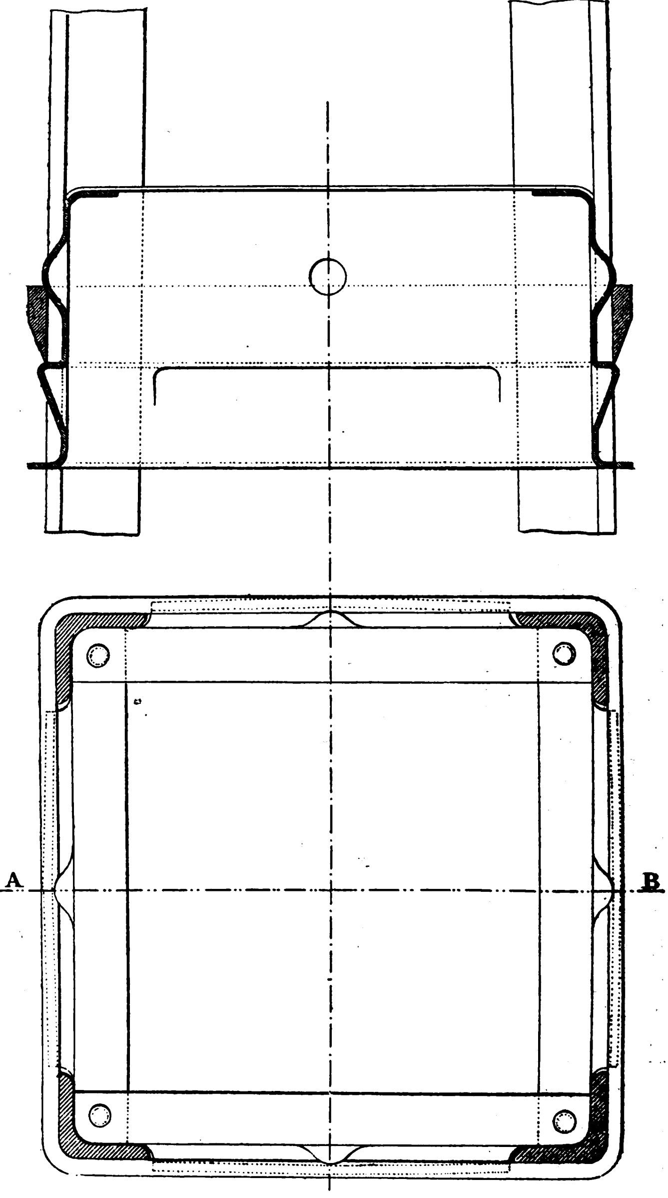


Fig. 7. — Coupes du poteau montrant l'assemblage par frettes et contrefrettes (Échelle 1/2).

montage de la frette ; l'outil à l'aide duquel on voudrait la chasser glisserait sur le chanfrein sans produire d'effet. Au surplus, on peut fixer ces pièces dans une position invariable après le montage en gaufrant au-dessus d'elles la tôle de la contre-frette par un coup de pointeau.

Pour le transport, toutes les frettes pénètrent l'une dans l'autre et forment ainsi un très petit colis ; chacune d'elles porte d'ailleurs un numéro répété sur la contre-frette et sur le gabarit d'assemblage de manière à éviter toute hésitation au moment du montage.

Cette opération s'effectue de la manière suivante :

Le gabarit est une sorte de noyau en bois formé de plusieurs pièces s'assemblant avec des boulons ; il est un peu plus petit que la dimension intérieure du poteau ; trois chevalets également démontables l'élèvent à $0^m,80$ au-dessus du sol.

On commence par introduire le gabarit dans les contre-frettes qui sont rangées à la position qu'elles doivent occuper, on dispose sur elles les montants et on glisse quelques frettes pour maintenir le tout provisoirement ; on procède alors à l'accrochage des cornières l'une sur l'autre et à leur jonction à l'aide des bagues et des fourrures ; on règle ensuite définitivement la position des frettes, on poinçonne les contre-frettes et enfin on rogne les fourrures de fonte. La console de l'isolateur se place à la partie supérieure au moyen de deux boulons serrés entre deux plaques en bois dur embrassant les montants.

Ce poteau satisfait aux conditions de poids et de rigidité ; non seulement la flèche ne dépasse pas $0^m,06$ sous une traction de 30 kilogrammes appliquée au som-

met, mais encore on peut augmenter notablement cet effort sans produire de déformation persistante.

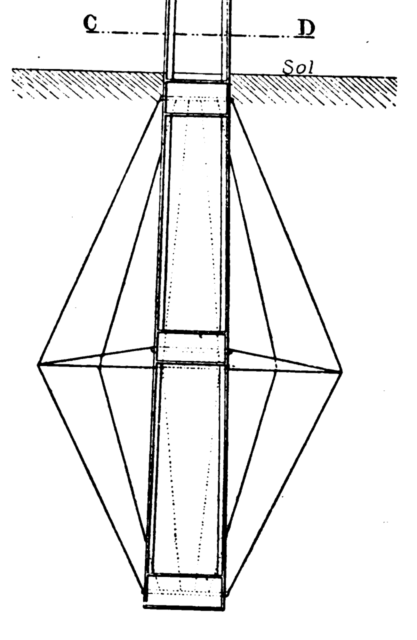
Ainsi monté, cet appui représente le type courant à planter dans le terrain de consistance ordinaire, la rocaille ou le roc ; les contre-frettes offrent une surface suffisante pour qu'on puisse coincer le poteau avec des pierres convenablement disposées ; la plantation ne diffère donc pas de celle d'un poteau de bois.

Dans le roc vif, on peut éviter le creusage d'une fouille de la dimension du diamètre du poteau et forer seulement quatre trous à la barre à mine pour y engager les montants ; dans ce cas, on supprime les deux frettes inférieures et les contre-frettes correspondantes ; cette opération nécessite moins de travail que l'ouverture de la fouille complète, mais exige plus de précaution ; il permet d'obtenir la même solidité de plantation avec une profondeur d'encastrement moindre. Les montants peuvent être fixés avec des coins ou scellés avec une très petite quantité de plâtre.

On peut augmenter la surface du poteau pour la plantation dans les terrains peu consistants en disposant entre deux arêtes opposées une tôle de $0^{mm},02$ d'épaisseur ; on peut même introduire à l'intérieur du poteau deux plans diagonaux en tôle croisés à angle droit à côté desquels on peut damer vigoureusement les matériaux destinés à maintenir l'appui.

Enfin, dans les régions de sable mouvants, on peut combiner avec le dispositif qui précède, un second, ayant pour but d'intéresser une grande masse de matériaux et de s'opposer au renversement. C'est une sorte de pavois (*fig.* 8) en tôle, rendu rigide par un repliage convenable des bords et fixé au poteau d'une part, à l'aide d'une des frettes d'assemblage, d'autre

part, au moyen de huit gros fils de fer partant de chaque angle et s'attachant aux montants, les uns à l'extrémité du poteau, les autres dans une position symétrique par rapport à cette pièce.



Ces deux adjonctions très simples semblent suffisantes pour assurer la plantation du poteau type dans tous les terrains.

La résistance de cet appui permettrait de l'employer sans consolidation pour des angles supérieurs à 120°.

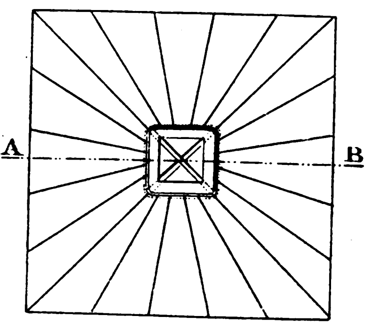


Fig. 8. — Consolidation de la base pour terrains mouvants (Échelle 1/20).

Pour consolider, en cas de tirage plus considérable, on peut accoupler deux poteaux semblables ou haubanner un poteau simple. Dans les sables, on pourrait utiliser pour fixer les haubans des plaques semblables aux pavois décrits plus haut, qu'on enfoncerait à la profondeur suffisante.

En résumé, les progrès réalisés depuis la découverte des bronzes téléphoniques permettent d'alléger le matériel destiné à établir des lignes dans les pays lointains. Avec des conducteurs légers, on peut augmenter la tolérance des dimensions admises pour les poteaux de bois, et, en Algérie notamment recourir aux bois indigènes et les utiliser jusqu'aux endroits où leur transport par voiture deviendrait trop onéreux. A partir de cette limite, il conviendrait de recourir aux appuis métalliques démontables qu'on pourrait transporter à dos de chameau.

Le type décrit semble satisfaire à toutes les conditions proposées ; il est peut être un peu compliqué et un peu délicat. D'autres solutions peuvent être cherchées, car la question des lignes coloniales est plus que jamais à l'ordre du jour.

J. VOISENAT.



NOTES

SUR

LA TÉLÉPHONIE AUX ÉTATS-UNIS

(*Suite*) (*).

POSTE D'ABONNÉ. — TRANSMETTEUR A GRANDE DISTANCE. — ÉLÉMENT FULLER.

Les postes d'abonnés subissent une heureuse modification. Le réseau de téléphonie interurbaine prenant sous une impulsion hardie et judicieuse une extension véritablement merveilleuse, les demandes des abonnés des diverses villes pour être autorisés à s'en servir à partir de leur domicile deviennent de plus en plus nombreuses ; il n'y est fait droit que sous la condition que les abonnés acceptent la transformation, à titre d'ailleurs onéreux, de leur poste, et la substitution, aux anciens transmetteurs, des microphones les plus perfectionnés qu'on possède actuellement, ceux du type dit « solid back » (*fig.* 29 et 30): si la ligne urbaine de l'abonné est unifilaire, l'abonné doit en outre se pourvoir d'une ligne à deux fils.

Microphone. — Le microphone dont nous parlons, adopté depuis quatre ans pour la grande distance, est un microphone granulaire. Il consiste essentiellement en deux pastilles de charbon, C et C′ mainte-

(*) Voir p. 360 et 421.



nues, la première contre le fond d'une petite boîte métallique verticale B, la seconde, par un écrou E, contre un disque en mica, formant couvercle à la dite boîte, et entre lesquelles est logée la poudre ou fine grenaille de charbon. L'ensemble est maintenu par un pont métallique PQ vissé sur la caisse de l'appareil et auquel aboutit une des extrémités du circuit primaire; la seconde extrémité aboutit en E. La membrane vibrante D du microphone est fixée sur la tête de E à l'aide d'un petit écrou; quand on parle devant cette membrane, les vibrations en sont transmises à la

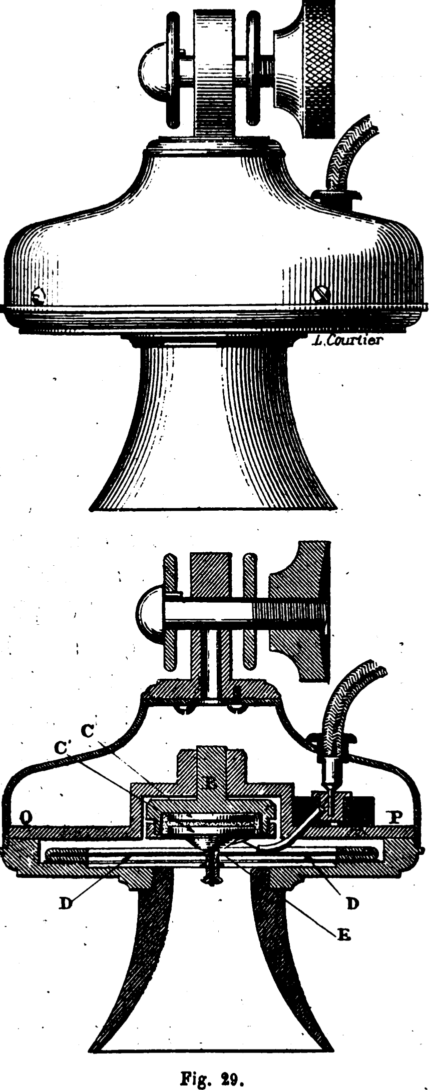


Fig. 29.

pastille C′ qui peut prendre des mouvements de petite amplitude grâce à l'élasticité du disque du mica.

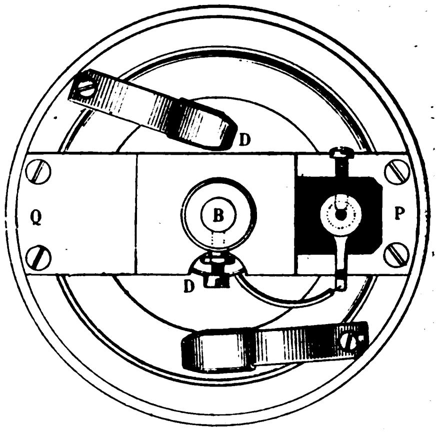


Fig. 30.

Le microphone est monté sur un support métallique, support mural, bras vertical sur meuble formant poste téléphonique spécial, ou pied mobile pour table-bureau, et maintenu sur ce support à l'aide d'un écrou qui permet de donner à l'appareil toutes les inclinaisons sur l'horizontale, la position moyenne et normale correspondant à la verticalité de la membrane.

Les microphones granulaires imaginés jusqu'ici, bons pour les postes portatifs où la grenaille de charbon est perpétuellement remuée, ont toujours été, pour les postes fixes, inférieurs en permanence aux meilleurs microphones à charbons massifs ; la cause en est dans le tassement des grains au bout de quelque temps. De tous les avis que nous avons recueillis sur cette importante question de la permanence, il résulte que, dans le microphone « solid back » le tassement, en pratique, pour une raison ou pour une autre, ne se produit ou ne se manifeste pas ; dans un réseau où il existe 7 à 800 de ces instruments en service, et où ce type de microphone est employé depuis trois ans, on n'entend peut-être pas parler de dérange-

ment dû au tassement une fois en six mois. Plus de 40.000 de ces instruments sont déjà en service et permettent de communiquer aux distances les plus diverses, celles qu'on peut rencontrer à l'intérieur d'un même réseau, comme celles entre des villes aussi éloignées que New-York et Washington, soit 1.500 kilomètres ; le résultat obtenu entre ces deux dernières villes est absolument remarquable, nous avons pu le constater à diverses reprises ; la communication est excellente. Nous avons communiqué d'ailleurs à des distances encore plus grandes, de Boston ou Washington à Chicago, en passant par le bureau de New-York. L'intérêt considérable et tout particulier que présente la qualité d'un transmetteur, pour la téléphonie à grande distance, vient de l'économie que cette qualité permet de réaliser sur le coût des fils ; c'est ainsi que le circuit New-York-Chicago est constitué en fils de cuivre dur de $4^{mm},18$ à peine, ayant une conductibilité égale à 97 p. 100 de celle de l'étalon de Matthiessen : si l'on tient compte que les poids sont entre eux comme les carrés des diamètres, on saisit l'importance de cette considération pour des lignes aussi longues que celles des États-Unis.

Le microphone ne fournit d'ailleurs cet excellent service qu'à la condition d'être parfaitement réglé, et l'on doit noter que, si le réglage se maintient très bien une fois effectué, il constitue en lui-même une opération fort délicate : aussi, pour éviter qu'un zèle maladroit ne conduise, sous prétexte de vérification, à le démonter et remonter à propos d'un incident quelconque, et à en fausser ainsi complètement le fonctionnement, l'ordre absolu est-il donné, au cas où un instrument serait supposé défectueux, de n'y toucher

sous aucun prétexte ni en aucune mesure et de le renvoyer tel quel à l'atelier central d'ajustage. En outre, pour ces transmissions à longue distance, le microphone doit fonctionner et il est remarquable qu'il le puisse avec une pile très forte (pour ces très grandes distances, bien entendu); la pile employée est composée de trois éléments Fuller, montés en série.

Élément Fuller. — Le modèle adopté diffère légèrement de celui mentionné jadis dans ce recueil (*). Il est constitué (*fig.* 31) par un couple zinc-charbon où le zinc plonge dans une dissolution de sel marin et le charbon dans une solution de bichromate de soude acidulée à l'acide sulfurique ; l'eau salée et le zinc, avec une petite quantité de mercure, sont placés dans un vase poreux P, le zinc, en forme de cône, reposant sur le fond du vase poreux : dans le vase extérieur en verre V se trouvent la solution de bichromate de soude et la lame de charbon L. La force électromotrice est légèrement supérieure à 2 volts.

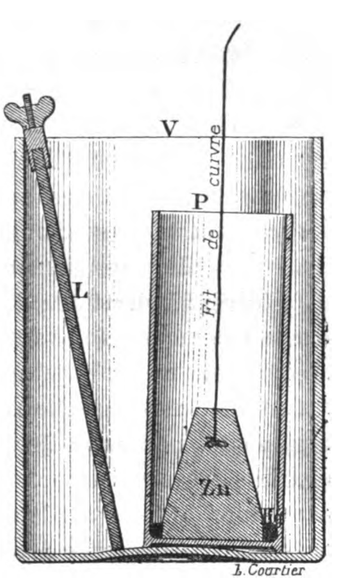


Fig. 31.

Le microphone « solid back » donne encore de très bons résultats avec une pile moins forte que celle dont nous venons de parler, mais la portée de l'instrument est alors réduite.

(*) *Annales télégraphiques*, t. III, 1876, p. 489.

LIGNES AUXILIAIRES.

Les dimensions extraordinaires des villes des États-Unis (New-York a plus de 24 kilomètres de long sur 3 de large; Chicago couvre 416 kilomètres carrés, tandis que Paris en couvre 72, etc.), rendent, dans un nombre considérable de cas, absolument impossible la création de bureaux uniques; l'entreprise serait tuée par le coût d'établissement des lignes d'abonnés. De plus, sur ces immenses surfaces la population est peu dense: à New-York, où cette densité est la plus forte, elle n'atteint pas 15.000 habitants par kilomètre carré, tandis qu'à Paris elle est approximativement de 30.000. La répartition des abonnés n'étant point uniforme dans une ville, ces densités ne sont mentionnées ici qu'à titre d'indication; l'étendue des surfaces n'en existe pas moins et l'avantage de la concentration des abonnés sur un seul multiple a pour contre-partie des frais tellement considérables dans l'établissement des lignes que, par suite de la limitation nécessaire des districts desservis par un même bureau, l'obligation de construire de très grands multiples ne s'est pas encore présentée: par contre des efforts persévérants ont été faits pour perfectionner le maniement des lignes auxiliaires et en augmenter le rendement. Nous ne pouvons cependant oublier que, même dans ces conditions défavorables à la concentration des lignes, on en vient à construire des multiples pour plus de 5.400, c'est la capacité d'un des derniers multiples mis en service; en outre, et bien que les jacks actuels permettent d'établir un multiple de 10.000 environ par la simple adoption d'un bâti convenable, on ne considère

pas comme impossible que cette capacité soit insuffisante dans l'avenir. Enfin il faut ajouter que l'on arrive déjà pour certains bureaux à avoir une longueur de lignes de départ égale au 1/3 de la longueur totale des lignes des abonnés reliés au bureau et une proportion de 50, 60 et plus de 80 p. 100 de communications qui doivent être transférées à un autre bureau. Indépendamment des autres observations qu'appelleraient ces dernières remarques, il y a lieu de tirer cette conclusion, c'est que le mode d'exploitation des lignes auxiliaires sollicite toute l'attention. Evaluer le nombre des lignes auxiliaires par le nombre d'abonnés, dire qu'il en faut une par 5, par 10, par 20 abonnés n'a aucun sens en soi-même : ce qui importe c'est le nombre de messages qu'on y peut faire passer en un temps donné, l'élévation de ce nombre correspondant à la fois à une économie dans les frais de premier établissement, à une économie dans les frais d'exploitation et, toutes choses égales d'ailleurs, à un meilleur service. Tout règlement de service, toute disposition matérielle qui aura pour effet d'abréger les manœuvres, d'éviter les erreurs, sera donc la source d'un gain pour l'entreprise et d'un gain pour l'abonné. Au premier point de vue, celui des règles de service, nous devons ajouter un mot à ce que nous avons dit précédemment (*) sur les lignes auxiliaires de départ : nous avons signalé le danger qu'il y avait à donner aux opérateurs la libre disposition de toutes les lignes de départ et l'intérêt qu'il y avait à répartir ces lignes par groupes entre les diverses sections, chacune pouvant d'ailleurs être prise dans plusieurs sections : or

(*) *Annales télégraphiques*, t. XVIII, 1891, p. 156.

on a essayé le système qui consiste à faire prendre la ligne auxiliaire par l'opérateur d'arrivée au bureau appelé et non par l'opérateur du poste de départ. En d'autres termes, l'opérateur du bureau A recevant une demande de communication pour un abonné du bureau B, la transmet verbalement séance tenante à l'opérateur d'arrivée de B (*), *qui l'invite* à mettre la ligne du demandeur *sur la ligne auxiliaire x* que lui-même sait libre, puisqu'il est le seul à en disposer à l'arrivée et qu'il la voit libre sous ses yeux, s'en emparant en même temps qu'il l'indique à l'opérateur de départ; celui-ci attend, il est vrai, un instant, mais on ne doit pas perdre de vue que, dans l'autre procédure, c'est-à-dire lorsque c'est l'opérateur de départ qui désigne la ligne auxiliaire à employer, il doit, avant de la connaître lui-même, l'avoir essayée et souvent en avoir essayé un certain nombre, puisque ces lignes de départ sont multiplées dans plusieurs sections de A et peuvent avoir été prises par d'autres opérateurs. En fait, la méthode essayée a, paraît-il, donné de meilleurs résultats et plus prompts que celle-ci ; il semble donc qu'il y ait lieu de laisser à l'opérateur d'arrivée le choix de la ligne auxiliaire. La ligne auxiliaire, à l'arrivée, non plus que le cordon servant à la relier à la ligne du demandé, n'est munie d'aucun annonciateur de fin de conversation : la communication une fois établie, l'opérateur de départ seul en devient responsable et c'est à lui qu'incombe le soin de recevoir le signal de fin de conversation, de rompre le premier la communica-

(*) Cette communication, on le sait, est faite sur un circuit d'avis verbal, aboutissant au téléphone de l'opérateur d'arrivée et disposé au poste de départ de façon que les téléphonistes s'y relient par une simple pression sur une clef.

tion et d'aviser, par le circuit d'appel verbal, l'opérateur du poste d'arrivée.

On a cherché d'ailleurs à laisser à l'opérateur de départ, la direction entière des opérations en évitant de l'obliger, avec la procédure antérieure, à essayer les différentes lignes qu'il a à sa disposition. Dans un multiple construit surtout à titre expérimental, de petits signaux visibles ou mieux signaux à vue, ont été annexés à chaque jack de ligne de départ; le signal paraît dans les sections où la ligne est multipliée aussitôt qu'elle est prise dans l'une quelconque de ces sections; les opérateurs des autres sections sont donc avertis par un simple coup d'œil que telles et telles lignes sont occupées; la perte de temps due à l'essai de plusieurs lignes disparaît donc. Enfin, l'on a été encore plus loin: dans ce même multiple, les lignes d'arrivée étaient munies à leur tour de signaux à vue, également de petites dimensions pour ne point perdre de place sur le multiple, et fonctionnant quand, à la fin d'une conversation, la communication avait été rompue au poste de départ: de cette façon l'opérateur du poste d'arrivée n'a même plus besoin d'être avisé verbalement de cette fin de conversation par l'opérateur du poste de départ. Les avis de service semblent ainsi réduits au minimum. Ce double équipement, au départ et à l'arrivée, constitue, en principe, un perfectionnement sérieux pour l'usage des lignes auxiliaires.

Nous ne saurions mieux faire, pour montrer la sollicitude avec laquelle a été étudiée et travaillée cette question des lignes auxiliaires, que d'indiquer le mode opératoire adopté à New-York par la compagnie de téléphonie à grande distance dont la remarquable initiative s'accompagne d'un souci constant des détails.

La compagnie de longue distance possède à New-York, dans le bâtiment où se trouve le principal bureau de téléphonie locale, le plus important de ses postes; 67 (soixante-sept) circuits de conversation y aboutissent; la compagnie a été tout naturellement conduite à y étudier le système le plus favorable à la rapidité de mise en communication entre les abonnés locaux et ces nombreuses lignes. La méthode à laquelle on est parvenu mérite considération.

Les lignes d'abonnés arrivent à un tableau qui constitue, en fait, la première section du multiple desservant le poste urbain. Les grandes lignes sont réparties entre douze tableaux.

Entre la section de multiple et chacun des douze tableaux sont posées des lignes de renvoi, partant du tableau de grande distance sur jacks et annonciateurs et se terminant, à la section de multiple, par des cordes uniques. Des communications sont arrangées de telle sorte que, si l'opérateur de multiple doit se servir le premier d'une de ces lignes de renvoi, au moment même où il enlève de son alvéole la fiche terminale, c'est-à-dire avant que rien soit modifié sur le tableau de grande distance, l'annonciateur correspondant, sur ce tableau, fonctionne et le volet tombe : de plus, l'armature de cet annonciateur reste attirée et le volet tombé ne peut être raccroché, jusqu'à ce qu'une fiche ait été enfoncée dans le jack de la ligne de renvoi. Puis, quand cette fiche est ultérieurement retirée du jack en question, un signal apparaît à la première section de multiple et l'annonciateur du tableau, automatiquement, fonctionne à nouveau; le signal disparaît et l'annonciateur peut être ramené au repos seulement quand la fiche terminale de la ligne de renvoi, retirée,

à la section de multiple, du jack général qu'elle occupait, est replacée et enfoncée dans son alvéole. — Les tableaux de longue distance sont munis de paires de cordes avec annonciateurs, clefs d'écoute, etc.

L'équipement du poste comprend en outre un tableau intermédiaire, servant à établir des communications entre tableaux de grandes lignes; il est muni de doubles cordes dépourvues d'annonciateurs. Chaque tableau de grande distance est relié à ce tableau intermédiaire par des lignes de renvoi, partant du tableau de grande distance sur jacks accompagnés d'annonciateurs et arrivant au tableau intermédiaire sur jacks sans annonciateurs.

Ceci posé, voici quelles sont les opérations de mise en communication.

Trois cas peuvent se présenter :

a) Un abonné, n° 1250 par exemple, de New-York, veut communiquer avec un abonné d'une autre ville, soit Boston.

b) Un abonné B d'une autre ville, soit Boston, demande un abonné (1250) de New-York.

c) Un abonné d'une autre ville, soit B de Boston, demande un abonné d'une autre ville, soit W de Washington.

a) L'abonné n° 1250 de New-York veut communiquer avec un abonné de Boston. Il sonne alors comme pour une communication ordinaire et dit simplement à la téléphoniste urbaine « Donnez-moi Boston ». La téléphoniste, à l'aide d'un circuit d'avis verbal aboutissant au téléphone que l'opérateur de la première section de multiple a constamment à l'oreille, avise cet opérateur que 1250 demande Boston. L'opérateur saisit alors une fiche de corde unique corres-

pondant au tableau Boston, la porte dans le jack général du demandeur et, par le simple fait qu'il a sorti la fiche de son alvéole, fait tomber, à la section de grande distance, le volet en communication avec cette corde.

La téléphoniste de grande ligne prend une fiche appartenant à une paire de cordes et l'insère dans le jack de la ligne de renvoi ; dès lors elle se trouve avoir coupé l'annonciateur de celle-ci et peut en relever le volet. Par sa clef d'écoute, elle reçoit la demande de l'abonné.

a') Si la direction demandée, Boston, est libre, la téléphoniste sonne Boston à l'aide de la seconde fiche de la paire de cordes et d'une clef d'appel et, si elle obtient l'abonné demandé, invite à parler 1250 qui a gardé le téléphone à l'oreille ; elle ramène au repos la clef d'écoute, laissant ainsi sur la ligne l'annonciateur final. Quand le signal de fin de conversation arrive, elle rompt les communications : de ce fait, un signal apparaît à la section de multiple, en face de la corde employée, et le volet de l'annonciateur de la ligne de renvoi tombe. L'opérateur de multiple, prévenu par le signal, rompt également la communication qu'il a établie ; aussi longtemps qu'il ne l'a pas fait, la téléphoniste de grande ligne en est avertie, l'armature de l'annonciateur demeurant attirée et le volet n'en pouvant être relevé : si cette situation se prolonge, la téléphoniste se porte sur le circuit dont elle dispose pour parler à l'opérateur et appelle l'attention de celui-ci.

a'') Si la ligne de Boston ou l'abonné n'est pas disponible, l'opératrice de grande ligne en avise 1250, rompt (ou ne rompt pas, si elle estime avoir l'abonné à bref délai) les communications, ce qui produit les

mêmes effets que ci-dessus, et ultérieurement redemande 1250 comme elle le ferait dans l'hypothèse (*b*).

b) Un abonné, B, de Boston, demande un abonné, 1250, de New-York. L'opératrice newyorkaise Boston se porte sur le circuit d'audition de l'opérateur de multiple et lui demande 1250 sur la ligne de renvoi *t*. L'opérateur, avec une fiche spéciale, fait l'essai de la ligne 1250 pendant que la téléphoniste met une fiche dans le jack de la ligne de renvoi et se porte sur cette ligne avec sa clef d'écoute ou, pour être plus exact, y reste puisqu'elle a déjà, avec l'autre fiche de la paire de cordes, pris communication avec Boston.

b') Si l'opérateur de multiple trouve libre la ligne 1250, il achève la communication avec la fiche et la corde de la ligne de renvoi indiquée *t* et la téléphoniste n'a plus qu'à sonner, avec sa clef d'appel, l'abonné demandé 1250.

b'') Si l'opérateur de première section trouve occupée la ligne 1250, il porte la fiche de la ligne de renvoi *t* sur un jack spécial où aboutit la dynamo d'appel. La téléphoniste en entend le ronflement, informe Boston que la ligne 1250 est occupée puis, en principe, rompt la communication de la grande ligne avec la double corde et de celle-ci avec la ligne de renvoi. En réalité, à ce moment, on utilise la ligne au mieux, attendant que 1250 soit libre ou faisant passer d'autres communications, suivant le cas. C'est d'ailleurs à la téléphoniste de grande ligne à redemander 1250 lorsque la grande ligne est libre de nouveau ; l'opérateur de première section n'a point à guetter le moment favorable.

c) Un abonné, B, de Boston, demande un abonné, W,

de Washington. La téléphoniste newyorkaise Boston, par le circuit d'audition de la téléphoniste en service au tableau intermédiaire, avise celle-ci qu'elle ait à mettre la section Washington sur la ligne de renvoi *m* par exemple et enfonce dans le jack d'où part cette ligne sur son propre tableau la seconde fiche de la paire de cordes qui lui a déjà servi à répondre à Boston. La téléphoniste intermédiaire réunit par une paire de cordes la ligne de renvoi *m* à une ligne de renvoi *n* aboutissant au tableau Washington et fait, par là, sur ce tableau, tomber l'annonciateur de la ligne de renvoi *n* ; elle avertit ainsi, sans prononcer un mot, la téléphoniste newyorkaise Washington qu'elle ait à se porter sur la ligne de renvoi *n*. Cette téléphoniste enfonce dans le jack de *n* une fiche d'une paire de cordes et, par la clef d'écoute, reçoit les indications de la téléphoniste newyorkaise Boston. A partir de ce moment, la téléphoniste Washington devient seule responsable de la communication qu'elle achève. Quand la conversation est terminée, la téléphoniste Washington, par le circuit d'audition de la téléphoniste intermédiaire, lui notifie l'ordre de rompre la communication; celle-ci exécute l'ordre et en même temps avise la téléphoniste Boston.

On voit que tout a été combiné de façon à réduire les conversations de service et à en enlever le prétexte.

Il est bon de noter que, sur les directions importantes, Boston et Philadelphie, les appels de poste à poste se font par circuits d'audition et non par sonneries et fonctionnement d'annonciateurs ; en outre, les circuits de conversation d'abonnés sont partagés en deux groupes, circuits pour communications en pro-

venance de New-York, circuits pour communications à destination de New-York.

Toute cette organisation complète un outillage en circuits des plus largement conçus, où l'on trouve par exemple, entre deux villes distantes de 380 kilomètres environ (New-York et Boston), vingt circuits tant omnibus que directs. La conséquence de cet état de choses est que les communications sont données avec une grande rapidité, à tel point que les attentes de cinq minutes sont considérées comme exceptionnelles.

EXAMENS STATISTIQUES.

Une exploitation téléphonique convenable et une étude tant soit peu sérieuse des conditions d'établissement ou de remaniement d'un bureau, exigent un examen attentif de l'allure du service selon les jours et les heures, du nombre d'appels, du nombre de conversations échangées, enfin des divers éléments qui interviennent dans une mise en communication, depuis l'appel initial jusqu'à la rupture de circuits qui termine l'opération. On arrive à comprendre l'importance de cette observation minutieuse et précise et les esprits finissent, au grand avantage pécuniaire des entreprises et au grand profit du service, par saisir la nécessité de posséder des relevés exacts permettant d'apprécier la fréquence, la rapidité et la perfection d'exécution des opérations. Les évaluations qu'on pourrait appeler de sentiment, sont sujettes à des erreurs incroyables et un relevé effectif donne seul des indications valables. Nous pourrions citer un grand réseau, fort bien dirigé

depuis longtemps et où cependant l'établissement, à une date assez récente, de statistiques semblables a permis, par un simple changement dans la répartition du personnel et une petite réduction, d'en augmenter le rendement de 23 p. 100.

Le nombre de communications aux différentes heures de la journée est obtenu de la manière suivante : A la portée de chaque téléphoniste est placé un petit panneau de 100 jacks ou 100 bagues de jacks ; une cheville en bois pouvant entrer dans ces bagues est également à sa disposition : à la première communication donnée, on enfonce la fiche dans la première bague, à la seconde on porte la fiche dans la seconde bague et ainsi de suite. Le personnel de surveillance relève à la fin de chaque heure le nombre de communications données par chaque opérateur et la cheville est enlevée pour être insérée à nouveau dans la bague n° 1 à la première nouvelle communication qui sera établie. La fraude est d'ailleurs rendue impossible par ce fait que lors des comptages, des agents spéciaux viennent en vérifier l'exactitude à des moments quelconques, en s'établissant avec un téléphone sur le circuit de n'importe quel poste d'opérateur : les erreurs relevées au cours de ce contrôle sont en nombre infime. Si les données numériques recueillies lors des comptages sont ensuite traduites graphiquement, les courbes obtenues mettent certains caractères du service absolument en évidence. C'est ainsi que les courbes représentatives du nombre horaire de communications se présentent presque partout avec la forme en M que nous avons eu déjà l'occasion de reproduire dans ce recueil (*) à

(*) *Annales télégraphiques*, t. XIV, 1887, p. 516.

propos de lignes à grande distance. C'est ainsi également que certaines courbes (voir *fig.* 32) montrent

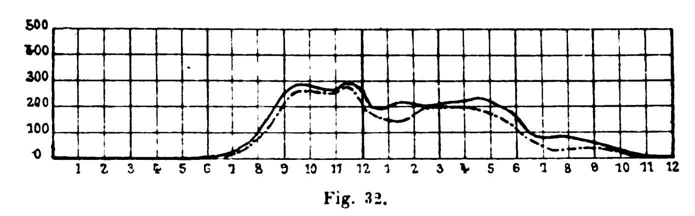


Fig. 32.

——— Courbe représentative des appels provenant des abonnés du bureau.
—·— Courbe représentative des appels provenant des abonnés du bureau et à destination d'abonnés reliés à d'autres bureaux.

d'une manière frappante que, dans tel ou tel bureau, la presque totalité des appels est à destination d'autres bureaux. C'est grâce à ces relevés encore que l'on peut connaître si, dans le trafic entre deux bureaux, A et B, la majorité des communications transférées l'est de A vers B ou de B vers A, s'il y a équilibre ou si la proportion change suivant le moment de la journée.

On voit d'autre part, par exemple, que les téléphonistes d'arrivée peuvent donner 1.598 communications par jour, et en 10 heures de travail à peu près ; c'est la moyenne résultant des observations faites sur les 49 postes d'arrivée d'un même réseau ; quant au nombre moyen de communications par ligne sur les 1.093 lignes correspondantes, il est de 71, avec des moyennes par bureau variant de 46 à 82 : on voit que le nombre moyen des lignes desservies par poste d'arrivée est de 22,3, le nombre brut allant de 32 à 17,7 pour les deux derniers bureaux visés qui fournissent l'écart maximum. Il est nécessaire, pour éviter toute ambiguïté, de spécifier que les lignes auxiliaires, dans le réseau en question, ne sont pas munies des signaux à vue dont nous avons parlé.

Nous devons enfin signaler un relevé des plus intéressants fait au bureau de Cortlandt Street à New-York et fournissant la décomposition, au point de vue du temps, d'une communication entre abonnés reliés à un même multiple, depuis l'appel du demandeur jusqu'à la remise en place des fiches. La figure ci-contre (*fig.* 33, trait plein) montre clairement les résultats ; les temps évalués en secondes sont portés sur l'axe horizontal; le trait plein représentatif de la communication est brisé à chaque opération nouvelle. Le temps zéro représente le moment où tombe le volet de l'annonciateur de l'appelant. Il faut un peu plus de 2 secondes à l'opérateur pour enfoncer la première fiche dans le jack individuel : 8 autres secondes sont employées à recevoir l'ordre de l'appelant et à essayer la ligne de l'appelé : celui-ci met environ 23 secondes à répondre et l'opérateur dépense encore 5 secondes à vérifier que la conversation commence et à retirer du circuit la clef d'écoute. A dater de ce moment la conversation dure approximativement 95 secondes en moyenne et 10 secondes sont nécessaires pour recevoir le signal de fin de conversation, s'assurer que la conversation est terminée, enlever les fiches et remettre tout en ordre. Nous n'entrerons pas dans la discussion de ce graphique ; mais nous ferons pourtant observer que sur les 33 secondes d'attente que doit accepter l'appelant, 23 sont imputables à son correspondant et non au service.

La ligne ponctuée de la *fig.*33 donne de même l'histoire d'une communication entre abonnés appartenant à des bureaux différents tous deux équipés avec des multiples. L'opérateur met naturellement 2 secondes comme ci-dessus à enfoncer la première fiche dans le jack individuel : il commence peut-être un peu plus tôt

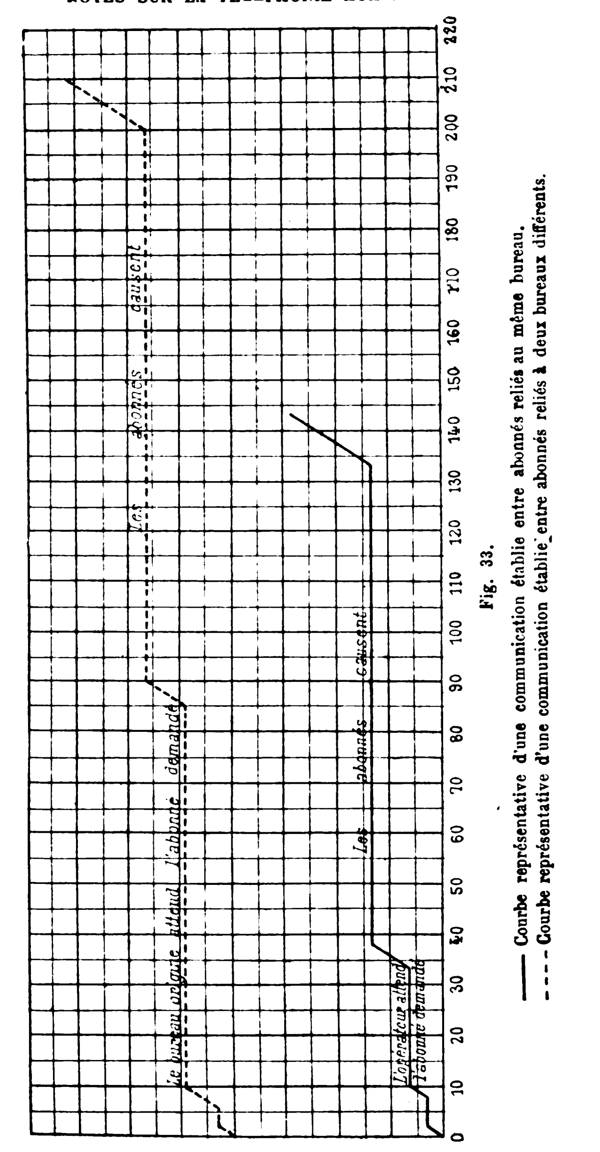


Fig. 33.

—— Courbe représentative d'une communication établie entre abonnés reliés au même bureau.

- - - - Courbe représentative d'une communication établie entre abonnés reliés à deux bureaux différents.

à essayer les lignes de départ qu'il ne le faisait pour

les lignes d'abonnés parce que les lignes de départ sont immédiatement sous sa main, mais l'essai dure plus longtemps en moyenne parce qu'il trouve souvent plusieurs lignes de départ occupées et qu'il est obligé dès lors d'en essayer un certain nombre : l'appelant n'obtient plus ici son correspondant qu'au bout de 85 secondes au lieu de 33 comme dans le cas précédents, soit 50 secondes de plus. Il semble donc y avoir de ce côté quelque chose à gagner soit par une modification des règlements d'exploitation, soit par l'addition aux lignes auxiliaires de certains organes en rendant la manœuvre plus franche. On voit aussi que, pour une raison ou pour une autre, les conversations échangées par les lignes auxiliaires sont plus longues que celles entre abonnés d'un même bureau.

Il serait intéressant de savoir si le fait est général ou s'il ne se présente que dans les bureaux principaux des réseaux, où les abonnés peuvent fort bien avoir plus d'activité que ceux de certains bureaux secondaires qui servent de correspondants aux premiers.

TARIFS LOCAUX.

L'immense majorité des réseaux est exploitée sous le régime de l'abonnement pur et simple. Selon les conditions locales, cherté de toutes choses, emploi de conducteurs aériens ou de conducteurs souterrains, coût plus ou moins élevé des lignes souterraines, usage de lignes unifilaires, bifilaires, genre de microphones et de piles placés chez l'abonné, etc., l'abonnement varie, pour les bureaux d'affaires, de 64 dollars par an à 240 et, pour les résidences privées, de 54 à 180. L'usage aux États-Unis est bien plus répandu que

chez nous et presque absolu de posséder son domicile privé dans un quartier absolument distinct de celui des affaires, où l'on a son bureau. En certains endroits, le quartier des affaires, d'une activité fiévreuse les jours ouvrables, est, les dimanches et jours fériés, désert et morne à un point que nous pouvons difficilement concevoir. En même temps, le traitement des affaires est confiné au bureau et la résidence personnelle reste consacrée au repos et aux devoirs de famille. La distinction dans la pratique est donc bien nette entre le service demandé par un poste d'abonné « de résidence » et par un poste « d'affaires » ; elle se traduit tout naturellement par une différence dans les taxes appliquées. Les tarifs extrêmes que nous avons cités sont, au reste, exceptionnels : on peut admettre que, dans les villes de plus de 100.000 habitants, les tarifs sont compris entre 100 et 125 dollars pour les bureaux, 72 et 100 dollars pour les résidences.

A titre d'exemple et pour montrer les divers éléments qui peuvent intervenir dans l'établissement du prix d'abonnement, nous mentionnerons ici le tarif en vigueur dans une ville de l'Est qui a donné, au dernier recensement, une population de 203.000 habitants.

Poste équipé avec ligne unifilaire :

	dollars	
Abonnement annuel pour un bureau. . .	100	Si la longueur de la ligne n'excède pas 1 mile (1.609 mètres).
— une résidence.	72	

Si la distance est supérieure à 1 mile, il est payé en outre 25 dollars par mile, divisible par quart de mile.

Poste équipé avec ligne bifilaire :

	dollars	
Muni d'un microphone ordinaire.	120	Dans un rayon d'un mile.
— « solid back ». .	160	



Au delà d'un mile il est perçu 40 dollars par mile, divisible par quart de mile.

Payement à la conversation. — Le payement à la conversation est usité dans quelques villes seulement et donne lieu à plusieurs combinaisons, toutes comportant néanmoins un abonnement fixe minimum.

A San-Francisco et Portland, par exemple, l'abonnement pour les résidences donne droit à communiquer sans limitation du nombre de conversations ; celui des bureaux ne donne, au contraire, droit à aucune communication gratuite (*). — A Buffalo, le tarif est établi sur une double base : 1° un abonnement plus ou moins élevé suivant le nombre de conversations que l'abonné compte avoir dans l'année, cet abonnement ne pouvant être contracté pour moins de 500 conversations ; 2° une taxe supplémentaire pour toute conversation en excès sur le nombre convenu : la taxe est d'ailleurs décroissante au fur et à mesure que l'abonnement principal est plus élevé. Par exemple, un abonné ayant eu 550 communications, avec l'abonnement de 500, payera, en outre de 70 dollars correspondant à l'abonnement principal, 3 dollars correspondant à 50 communications payées sur le pied de 6 dollars le cent ; un abonné ayant causé 1.575 fois payera 115 dollars d'abonnement principal et 3 dollars correspondant à 75 communications sur le pied de 4 dollars le cent. Par contre, si le nombre, toujours supposé supérieur à 500, de conversations demandées dans une année est inférieur à celui pour lequel l'abonnement a été contracté, il est reversé à l'abonné une somme telle que le prix

(*) La taxe est perçue lorsque la ligne de l'abonné appelé est libre et que, par conséquent, le central sonne l'appelé, et cela que l'appelant réponde ou non.

des conversations effectivement données soit le même que si l'abonnement avait été contracté pour la centaine immédiatement inférieure au nombre de communications en question (l'échelle des abonnements progresse par centaines de communications) : si, un abonnement ayant été contracté pour 1.000 communications, c'est-à-dire payé 95 dollars, il n'a été demandé que 750 communications, le prix de ces 750 communications sera de 80 dollars pour l'abonnement de 700 et de 3 dollars pour les 50, il sera remboursé 95 — 83 = 12 dollars. — Enfin à Milwaukee, et c'est là le système qui détourne le moins les abonnés de communiquer, la taxe annuelle est, au commencement de chaque année, déterminée par le nombre d'appels faits pendant l'année précédente ; un abonnement, irréductible, de 90 dollars, donnant droit à 1.000 communications, on ajoute le prix des communications en excès calculé sur la base de 2 dollars le cent, c'est-à-dire 2 *cents* par communication : un abonné ayant communiqué 1.100 fois pendant une année payera 92 dollars d'abonnement pour l'année suivante. L'abonnement pour les résidences est de 80 dollars et donne droit à un nombre quelconque de conversations.

Dans tous les cas, le comptage opéré par les bureaux fait loi ; il n'existe pas d'appareils de comptage dans les bureaux ni chez les abonnés.

De ce qui précède, ressortent entre autres deux faits : 1° dans le système de payement à la conversation, il est toujours stipulé un minimum de taxe ; 2° les tarifs ne sont jamais les mêmes pour les bureaux et pour les résidences.

La principale objection opposée à la taxation à

l'unité est l'entrave qu'elle apporte à l'usage du téléphone : ses adversaires estiment que la contrainte que s'imposent à ce sujet les abonnés s'applique non seulement aux communications insignifiantes pour lesquelles il y a souvent abus, mais encore à des communications ayant leur utilité ; cette critique paraît fondée : l'on trouve sur ce point, de la contrainte volontaire des abonnés sous le régime de la taxe à la conversation, et de l'extension que, même étant sur leurs gardes, ils donnent à l'emploi du téléphone, sous le régime de l'abonnement fixe, un curieux et instructif renseignement dans une expérience en cours depuis un certain temps à San-Francisco, l'un des réseaux où la taxe à la conversation est le plus en honneur. Pour simplifier les questions de payement et rendre le service plus agréable à l'abonné, on admet un système qui rappelle jusqu'à un certain point le système ordinaire. Toute personne peut contracter un abonnement à somme fixe, mais à condition de maintenir le nombre de ses conversations au-dessous d'une valeur déterminée convenue d'avance. Or, voici un relevé fait, pour 15 abonnés, du nombre de conversations auquel ils avaient droit et de celui des communications qu'ils ont eues réellement en moyenne par mois pendant un an : le nombre de conversations y est représenté par la taxe correspondante ;

ABONNEMENT (par mois) consenti	SOMME MOYENNE (par mois) qui aurait dû être payée	DIFFÉRENCE EN PLUS	
		Absolue	Tant pour 100
$	$	$	
2,50	6,60	4,10	164
10,00	15,70	5,70	57
5,00	10,15	5,15	103
2,50	5,40	2,90	116
2,50	4,85	2,35	94
3,00	5,50	2,50	83
2,00	4,85	2,85	142
1,50	4,15	2,65	173
2,00	4,60	2,60	130
3,00	6,05	3,05	101
1,00	2,05	1,05	105
1,06	3,20	2,14	201
2,50	4,75	2,25	90
4,00	10,30	6,30	157
6,00	6,35	0,35	5

Il se trouve que la différence entre le service demandé et consenti et le service effectué s'élève jusqu'à 201 p. 100 du premier et que, les deux cas extrêmes mis de côté, la différence moyenne est de 115,7 p. 100.

Quoi qu'il en soit de cette question controversée, il est un point sur lequel nous avons trouvé un accord absolu entre tous les gens qui l'ont examinée, c'est celui de l'application de la taxe à l'unité aux petits réseaux. Tous la repoussent, estimant qu'elle serait à la fois mauvaise pour les abonnés et mauvaise pour l'entreprise : mauvaise pour les abonnés parce que, l'utilité du téléphone dans un réseau peu considérable étant relativement faible, la contrainte volontaire consécutive à l'application du système réduira à bien peu de chose l'usage du téléphone : mauvaise pour l'entreprise parce qu'elle ne tirera pas de revenu du réseau, ne pouvant même adopter des taxes élevées qui sembleraient prohibitives et détourneraient encore les abonnés de communiquer. En fait, dans les États du Pacifique, où l'on est très partisan de la taxe à l'unité

pour les grands réseaux de San-Francisco et de Portland, il n'existe pas, en dehors de ces deux villes et de Sacramento, Los Angeles, San José, de réseau où elle soit pratiquée.

Stations payantes. — Mais ce qui vient d'être dit, s'applique aux taxes payées pour les postes ordinaires. Il existe une catégorie particulière de postes, ceux placés dans les magasins, pharmacies, hôtels, etc., où ils sont mis à la disposition du public avec ou sans le consentement de la compagnie téléphonique. Comme on ne peut l'empêcher, on préfère en général, aux États-Unis, reconnaître officiellement l'existence du fait et prendre des mesures spéciales : on frappe ces postes d'un abonnement plus élevé si l'on veut s'en tenir strictement au régime de l'abonnement, ou, ce qui est meilleur, on les constitue, même dans les petits réseaux, à l'état de stations publiques payantes (la perception est alors faite par l'abonné qui reste responsable et touche en échange une partie de la taxe), ou bien encore on y installe des stations payantes automatiques. On installe aussi parfois des stations de ce dernier genre dans certains endroits publics spéciaux, salles d'attente de chemins de fer, bourses, etc., où les compagnies téléphoniques n'ont personne à qui confier la perception d'une taxe et où cependant le public est bien aise de trouver une station téléphonique. Deux systèmes sont en usage, le système Mac Cluer et le système Gray.

Système Mac Cluer. — Dans le système Mac Cluer (*fig.* 34), les communications du poste d'abonné subissent une légère altération, la communication entre le générateur, pile ou magnéto, qui sert à sonner, et la

ligne représentée par le levier, est normalement rompue et l'appel du bureau ainsi rendu impossible. Il faut, pour appeler, rétablir la continuité du circuit ; ce résultat est obtenu par l'insertion, entre un doigt A communiquant avec le générateur et un ergot B fixé au levier L, d'une pièce de monnaie de dimension déter-

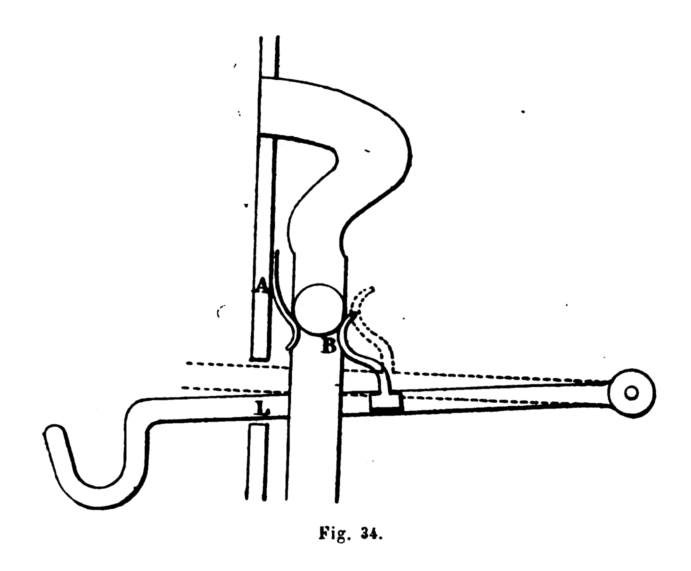
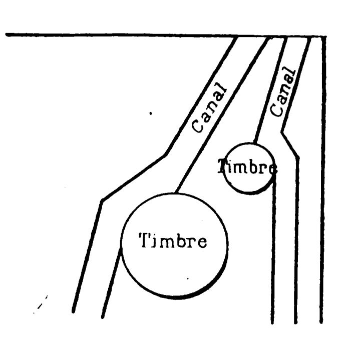


Fig. 34.

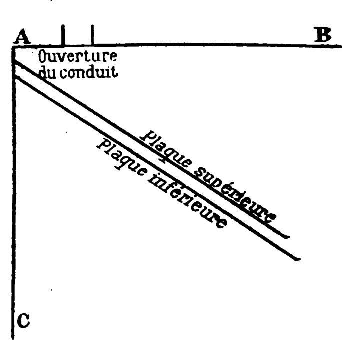
minée : on peut alors sonner, *sans mouvoir le levier*, puis décrocher le téléphone et relever le levier ; la position de B est telle que, en se soulevant, le levier éloigne cet ergot de la pièce de monnaie ; celle-ci, non soutenue, tombe. En pratique, quand on veut communiquer, on introduit la pièce de monnaie désignée dans un orifice allongé ménagé sur le côté de la caisse en bois du poste et formant l'ouverture d'un conduit plat vertical qui débouche à l'autre extrémité dans un petit réservoir caisse. A une certaine hauteur, le conduit est échancré sur ses deux tranches ; la paroi est par-

tiellement reconstituée d'un côté par le doigt A et de l'autre, au repos, par l'ergot B ; la distance entre A et B est déterminée de manière que la pièce représentant le prix de la conversation soit arrêtée et les mette en contact aussi longtemps que L n'est pas relevé ; lorsque, après avoir sonné, on décroche le téléphone, la pièce continue son chemin dans le conduit vertical et tombe dans la caisse. Ce système est, on le voit, combiné en vue d'une taxe unique.

Système Gray. — M. Gray, de son côté, a cherché à réaliser un système (*fig.* 35 et 36) où l'on pût employer



Vue de la plaque inférieure
Fig. 35.



Coupe transversale
Fig 36.

des pièces de monnaie différentes correspondant à différentes taxes. En-dessous du microphone et communiquant avec la boîte de ce microphone par un conduit jouant le rôle de tube acoustique, est placée une caisse ABC dans laquelle sont disposées, à très petite distance l'une de l'autre, deux grandes plaques inclinées ; l'intervalle est simplement suffisant pour que toutes les pièces de monnaie qui doivent servir à payer les taxes puissent glisser à plat entre les deux plaques : l'espace compris entre les plaques est découpé, par

des cloisons appropriées, en un certain nombre de petits canaux dont la largeur correspond aux diamètres des pièces à employer : ces canaux débouchent naturellement, par la partie supérieure, à l'extérieur de la caisse ABC. D'autre part, ils présentent, en certains points, des échancrures par lesquelles pénètre le bord de différents timbres. Si, dans le canal n° 1, par exemple, on fait glisser une pièce de 10 cents, elle viendra, dans sa chute, frapper 1 timbre de son aigu : un autre canal destiné à des pièces d'autre valeur aura 2 timbres : celui destiné au dollar recevra le bord d'un timbre à son grave, etc. Le son produit ainsi se propagera, par le tube acoustique, jusqu'au microphone et, si le crochet est levé, sera entendu au poste central par l'opérateur qui a le téléphone à l'oreille. La manœuvre pour obtenir une communication est donc la suivante : sonner, demander la communication comme avec un poste ordinaire, mettre, sans raccrocher le téléphone, dans la fente convenable, la pièce de monnaie exigée. L'opérateur n'achève pas la communication avant d'avoir entendu le son des timbres correspondant à la somme à payer.

Ces deux systèmes ne sont pas, jusqu'à présent du moins, d'un usage très étendu ; là où ils sont employés cependant, ils paraissent donner satisfaction. Une même observation peut être faite pour les deux ; c'est que la réalité de la recette dépend de la bonne foi des personnes qui appellent et qui peuvent mettre des disques de métal quelconques au lieu de pièces de monnaie ayant cours. En fait, le public se montre honnête et les chefs de réseaux ne se plaignent pas. Si l'appareil est placé dans un magasin, on peut du reste rendre le propriétaire responsable des fausses

pièces qui se trouveraient dans les caisses ou encore faire les ouvertures telles qu'elles ne correspondent à aucune pièce existante, mais à des jetons spéciaux, et vendre au propriétaire un certain nombre de ces jetons qu'il délivrerait aux gens désirant communiquer.

TARIFS INTERURBAINS.

Les tarifs interurbains paraissent généralement élevés si on les compare aux nôtres, ce que l'étendue du pays rend tout naturel. Il existe deux genres de tarifs interurbains : ceux *régionaux*, ceux dits *à grande distance*. Les diverses compagnies téléphoniques qui ont obtenu la licence d'exploiter les brevets téléphoniques fondamentaux se sont partagé les États-Unis; chacune d'elles a son territoire propre, y exploite, outre des réseaux urbains, des lignes interurbaines présentant ainsi un caractère régional. D'autre part, une compagnie spéciale s'est fondée, dite communément *Compagnie de longue distance*, pour construire et exploiter non seulement des lignes du même genre, mais surtout des lignes reliant entre eux les divers territoires des précédentes. A l'intérieur d'un même territoire, les taxes ne descendent pas, croyons-nous, au-dessous de $1^f,25$: les taxes de $2^f,50$ y sont très fréquentes (sur 92 villes en communication, directe ou non, avec Washington, dans le territoire de la Compagnie de Chesapeake et Potomac, il y en a 85 pour lesquelles la taxe est de 50 cents, c'est-à-dire un peu plus de $2^f,50$) et les taxes supérieures sont loin d'être rares. Dans le réseau de la Compagnie de longue distance, les taxes sont nécessairement très variables et géné-

ralement élevées; elles montent jusqu'à 7, 8 et 9 dollars et dépassent parfois 10 dollars; celles de 1, 2, 4 dollars sont courantes. La taxe de New-York à Chicago (1.500 kilomètres), de 9 dollars, est, nous devons le dire, la seule qui corresponde à un circuit direct. Les autres taxes d'importance analogue sont obtenues par la totalisation des taxes élémentaires correspondant aux diverses lignes directes qu'il faut relier entre elles pour donner une communication entre deux villes ne jouissant pas d'une ligne spéciale. Il est d'ailleurs accordé une réduction allant jusqu'à 25 p. 100 à ceux qui ont de fréquentes communications à grande distance. Le tarif de nuit représente 50 p. 100 du tarif de jour. Les taxes, sauf dans les territoires du Pacifique, sont établies pour une durée de conversation de 5 minutes indivisibles. Cette durée de 5 minutes est, au reste, trop longue; celle de 3 minutes est plus convenable, se rapproche davantage de la durée normale d'une conversation et répond mieux aux besoins du service. Les compagnies du Pacifique ont adopté 3 minutes sur leurs lignes interurbaines, sans que cela soulève aucune protestation; le temps en excès de 3 minutes y est compté par minutes. Un système en usage dans ces compagnies peut être intéressant à noter, c'est celui du *service limité*. Sur celles des longues lignes où le tarif est élevé, un correspondant a droit, en le demandant, de causer pendant une demi-minute à tarif réduit. Cette combinaison paraît appréciée, puisque, pour l'ensemble des compagnies de la côte du Pacifique, 25 p. 100 de communications échangées sur les longues lignes à tarif élevé le sont sous le régime du *service limité*. — En ce qui concerne la Compagnie de grande distance, on peut admettre

d'une façon générale que la taxe est calculée sur la base de 1 cent (un peu plus de $0^{f},05$) par mile (*).

L'élévation relative des taxes s'explique aisément non seulement par la différence entre le pouvoir d'achat de la monnaie en Europe et aux États-Unis, mais encore par bien d'autres causes. Les distances considérables exigent l'immobilisation de capitaux importants dans les travaux de premier établissement, rendent la surveillance et la réparation des lignes plus difficiles et plus coûteuses, l'interruption plus dommageable. Les circuits n'empruntant point les appuis télégraphiques sont posés sur lignes spéciales. Les compagnies d'autre part ont droit à un bénéfice légitime et comme les lignes téléphoniques ont, en tous pays et de par leur genre même d'exploitation, un assez faible rendement, ces bénéfices, comme aussi l'amortissement des capitaux engagés, doivent venir des personnes en nombre forcément restreint qui profitent des communications, tandis que les administrations d'État recourent à l'impôt pour créer de semblables lignes, les exploiter et combler au besoin les insuffisances de recettes. Il faut ajouter enfin que les compagnies, dans leur désir, de fournir un service aussi parfait et rapide que possible, ont assumé parfois de bien lourdes charges par la construction de circuits fort nombreux et peu rémunérateurs : c'est ainsi que le nombre de 30 communications par jour est admis comme rendement moyen par circuit et qu'on arrive par là à donner les commu-

(*) Les fils employés étant de deux diamètres différents seulement, le coût des lignes reste probablement à peu près proportionnel à la longueur des circuits et facilite l'application d'une taxe elle-même proportionnelle.

nications d'abonnés à abonnés en 2 ou 3 minutes. Au point de vue de l'intérêt commercial immédiat, les circuits ont-ils été un peu trop multipliés dans certaines directions? Aurait-on pu, sans inconvénients graves, admettre que les abonnés attendissent quelques minutes? Cela est possible. Mais on pense que la question première est de fournir un bon service, sauf à le faire payer ce qu'il vaut ; il faut reconnaître que cette conception répond à l'intérêt vrai du public.

G. de la Touanne.



DÉTERMINATION DE LA FORME DES COURANTS PÉRIODIQUES EN FONCTION DU TEMPS AU MOYEN DE LA MÉTHODE D'INSCRIPTION ÉLECTROCHIMIQUE (*)

Note de M. P. Janet, présentée par M. Mascart (**).

Il est possible d'appliquer la méthode d'inscription électro-chimique des courants alternatifs, que j'ai eu l'honneur de présenter récemment à l'Académie (***), à la détermination de la forme de ces courants en fonction du temps. Voici quel est le principe de cette nouvelle application.

Soient M et N deux points pris sur un circuit alternatif et séparés par une résistance non inductive, une lampe à incandescence par exemple. Supposons, pour fixer les idées, que le point M soit maintenu au potentiel o; alors le potentiel V du point N pourra être représenté par

$$V = f(t).$$

$f(t)$ étant une fonction périodique du temps que je ne supposerai pas sinusoïdale : cette fonction est d'ailleurs proportionnelle à l'intensité du courant que l'on

(*) Par suite d'une erreur de mise en pages, la présente note a été supprimée dans le numéro de septembre-octobre contenant un article de M. Blondel qui s'y référait ; nous la rétablissons ici de façon que les lecteurs des *Annales* aient sous les yeux l'ensemble des notes parues aux *Comptes rendus* sur cette question. — Les expériences de M. P. Janet ont été exécutées au laboratoire d'électricité industrielle de la Faculté des sciences de Grenoble.

(**) *Comptes rendus*, 2 juillet 1894.

(***) *Comptes rendus*, 16 avril 1894.

veut étudier. Mettons le point M en communication avec le cylindre enregistreur, le point N en communication avec un premier style S_1. La fonction $f(t)$ représente à chaque instant l'excès de potentiel de ce style S_1, sur le cylindre, le circuit dérivé MS_1N étant, comme dans le cas des voltmètres, très résistant. Traçons la courbe C_1 représentative de la fonction $f(t)$ (*fig.* 1). Le style S_1 commencera à marquer sur le

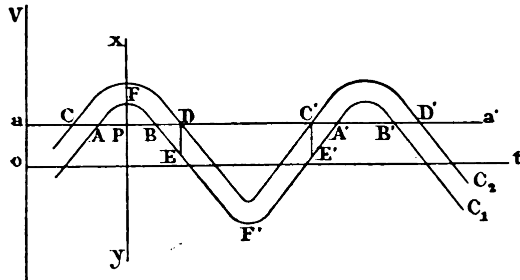


Fig. 1.

cylindre une trace de bleu de Prusse chaque fois que l'excès de potentiel de ce style sur le cylindre atteindra une valeur bien déterminée a que nous n'avons pas besoin de connaître. Traçons donc la droite aa' parallèle à Ot à une distance a. Il est facile de voir que, si le cylindre tourne d'une vitesse uniforme et si la figure est faite à une échelle convenable, *les segments de droite* AB, A'B', ..., *représentent en grandeur et en position les traces bleues que l'on observe sur le papier déroulé.*

Cela posé, mettons le même point N en communication avec le pôle négatif d'une pile (*) de force électromotrice connue e et de résistance intérieure négligeable. Le pôle positif de cette pile communique avec

(*) Dans la pratique, on emploie une batterie d'accumulateurs.

un second style S_2 disposé à côté du style S_1 et au même niveau que lui (les pointes des styles S_1 et S_2 étant toujours sur une même génératrice du cylindre enregistreur). L'excès de potentiel du style S_2 sur le cylindre est évidemment $V' = f(t) + e$, de sorte que cet excès est représenté par la courbe C_2, qui se déduit de la courbe C_1 en augmentant les ordonnées d'une quantité constante e. Ici encore, les traces bleues commenceront à s'inscrire sur le cylindre dès que cet excès de potentiel dépassera la même valeur a que tout à l'heure : elles seront donc représentées par les segments de droite CD, C'D', etc.

Sur les graphiques ainsi obtenus, nous pouvons maintenant mesurer à la machine à diviser la longueur BD, distance des extrémités des deux traits bleus sur les deux traces parallèles ; d'autre part, nous connaissons DE qui est égal à la force électromotrice e introduite ; nous connaissons donc l'abscisse et l'ordonnée du point E en prenant comme origine le point B et comme axe des temps la droite aa'. De même, le point C' nous fournissait le point E'. En faisant varier e, on construira ainsi par points l'arc BF'E' ; et en renversant les pôles de la pile, on se procurera tous les points de l'arc BFA. On aura ainsi construit une période entière de la courbe C_1.

Nous avons supposé, dans ce qui précède, la vitesse du cylindre uniforme ; mais cette restriction est facile à lever, ce qui nous permettra de faire tourner le cylindre simplement à la main ; il suffit, en effet, de ramener toutes les mesures à ce qu'elles seraient si la vitesse était constante. Pour cela, remarquons que les segments tels que AB sont proportionnels à la vitesse du cylindre ; il suffira alors, pour corriger les variations

de vitesse, de considérer partout, au lieu de la valeur absolue BD, le quotient $\frac{\mathrm{BD}}{\mathrm{AB}}$.

Les mesures se simplifient notablement si l'on suppose *a priori* que la courbe est symétrique par rapport à un axe vertical tel que XY. On mesure alors directement sur le graphique fourni par le style 2 l'abscisse PD du point D dont l'ordonnée connue est DE. Cette mesure suffit si la vitesse du cylindre est constante; si elle est variable, on prend à l'aide du style 1 un graphique de comparaison qui sert, comme précédemment, à ramener toutes les mesures à la même vitesse. Même en l'absence d'un axe de symétrie, ces courbes représentent, comme il est facile de le voir, un courant fictif ayant même intensité moyenne (mais non efficace) que le courant étudié.

Si nous comparons la méthode que nous venons d'exposer à la méthode classique de M. Joubert (*), nous trouvons que la différence consiste essentiellement en ce que, dans la méthode de M. Joubert, on se donne le temps et on mesure le potentiel, tandis que, dans la méthode actuelle, on se donne le potentiel et on mesure le temps; les avantages de cette manière de procéder sont, en premier lieu, la très grande simplicité des appareils et des mesures, en second lieu la possibilité de n'avoir à sa disposition ni l'alternateur qui fournit le courant, ni un moteur synchrone.

Enfin, comme j'espère pouvoir le montrer prochainement, la méthode s'applique, avec quelques modifications de détail, à l'inscription autographique directe de la forme des courants périodiques.

(*) *Annales de l'École normale*, 2e série, t. X.

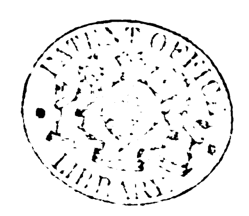


TABLE DES MATIÈRES.

TOME XXI. — ANNÉE 1894.

28.3.95

Numéro de Janvier-Février.

Numéro de Mars-Avril.

Numéro de Mai-Juin.

Numéro de Juillet-Août.

Numéro de Septembre-Octobre.

CHRONIQUE.

Numéro de Novembre-Décembre.

TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE

DES MATIÈRES.

TOME XXI. — ANNÉE 1894.

D

E

L

M

N

O

P

R

S

T

U

V

W

Y

FIN DES TABLES.

28.3.95

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.





